www.freeservicemanuals.info 11/13/2023

6e JAARGANG No. 4, blz. 97-128 APRIL 1941


# Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN


## DE MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN VAN GELASCHTE VERBINDINGEN

door P. C. van der WILLIGEN. 621.791.052

Het neergesmolten materiaal van een laschstaaf moet zooveel mogelijk dezelfde mechanische eigenschappen hebben als het materiaal, waaruit de te lasschen stukken bestaan. De door Philips ontwikkelde staaf type 55 werd speciaal bestemd voor het lasschen van het staal St 52; dienovereenkomstig was een trekvastheid van minstens 52 kg/mm² van het neergesmolten materiaal in de gelaschte verbinding vereischt. Door geschikte keuze der hiervoor noodige hardende bestanddeelen kon de hooge trekvastheid verkregen worden zonder schadelijke hardheidsverhooging in de lasch, en zonder afbreuk te doen aan de vervormbaarheid. Opvallend is de hooge kerftaaiheid van het neergesmolten materiaal (17 à 20 kgm/cm² voor een breukdoorsnede 5×10 mm²). Deze is verkregen door een geschikte samenstelling van de bekleeding van de laschstaaf, waardoor o.a. de voor de kerftaaiheid nadeelige stikstof uit het neergesmolten materiaal wordt geweerd. Dank zij de groote taaiheid en vervormbaarheid (plastische reserve) van het neergesmolten materiaal van de Philips 55 kunnen hiermede ook zeer harde, koolstofrijke staalsoorten worden gelascht, terwijl anderzijds door de kalkhoudende bekleeding ook het lasschen van minder goede, door zwavel verontreinigde, staalsoorten mogelijk is. Zelfs het zeer zwavelrijke automatenstaal kan men met deze staaf lasschen zonder dat porositeit in de lasch optreedt.

Bij het booglasschen komt de verbinding tusschen bijv. twee platen tot stand, doordat de hitte van de boog zoowel de als electrode fungeerende laschstaaf alsook een oppervlaktelaag van de platen doet smelten en versmelten. Hierbij spelen zich in het gesmolten materiaal, aan het oppervlak ervan en in de overgangszône naar het grondmateriaal van de platen, allerlei chemische processen af, welke een ver strekkende invloed kunnen uitoefenen op de mechanische eigenschappen van de verkregen lasch. Zijn bepaalde eigenschappen gewenscht, dan zal men de zich afspelende processen op geschikte wijze moeten leiden. In hoofdzaak kunnen we vier factoren aanwijzen, die hierbij een rol spelen: de samenstelling van het grondmateriaal, de samenstelling van het te verlasschen draad, de omgeving, waarin zich het gesmolten materiaal bevindt (bekleeding van het draad), en de snelheid van afkoelen.

De eerste van deze factoren heeft men in het algemeen niet in de hand, daar de keuze van het grondmateriaal door andere, vooral constructieve overwegingen bepaald zal zijn. De tweede en derde factor vormen het hoofdwapen, dat de fabrikant van laschstaven moet hanteeren om zijn product aan de eischen van den constructeur aan te passen. De vierde factor is voornamelijk een kwestie van laschtechniek.

Welke eischen zal nu de constructeur stellen? Het antwoord luidt, dat de mechanische eigenschappen van de gelaschte verbinding zoo goed mogelijk moeten overeenkomen met die van het grondmateriaal. Zoo algemeen geformuleerd is de eisch geenszins vanzelfsprekend. Vroeger nam men er veelal genoegen mee, dat de trekvastheid van de lasch (het neergesmolten materiaal) gelijk was aan die van het grondmateriaal; tegenwoordig is men er van overtuigd, dat ook voor de andere mechanische eigenschappen, zooals de rek, de kerftaaiheid enz. hetzelfde dient te worden verlangd.

Uit het bovenstaande volgt, dat aan een laschstaaf des te meer eischen gesteld worden, hoe beter materiaal men er mee wil lasschen. Maar ook het tegendeel is tot op zekere hoogte juist: het zal des te moeilijker zijn, een behoorlijke lasch te verkrijgen, hoe „slechter" het grondmateriaal is, dwz. hoe meer bijmengsels (zwavel, fosfor, enz.) het bevat, die sommige mechanische eigenschappen (eventueel ten bate van andere) benadeelen. Deze bijmengsels kunnen nl. bij het lasschen zeer onaangename verschijnselen, zooals het ontstaan van poreuze plekken of scheuren in de lasch, veroorzaken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



Door Philips is nu onlangs een nieuwe laschstaaf ontwikkeld (type 55), waarmee getracht werd aan verschillende wenschen tegelijk te voldoen: de staaf is eenerzijds geschikt voor het lasschen van zeer goede staalsoorten (St 52), en wel geschikt in die zin, dat het neergesmolten materiaal van de staaf niet alleen dezelfde hooge trekvastheid als dit staal heeft, maar ook o.a. een buitengewoon hooge kerftaaiheid; anderzijds is de laschstaaf in hooge mate ongevoelig voor het meest gevaarlijke bestanddeel in het grondmateriaal, nl. zwavel. In het navolgende willen we deze eigenschappen nader bespreken en hun verband aanstippen met de reeds genoemde, den fabrikant ten dienste staande factoren: de keuze van samenstelling en bekleeding van de laschstaaf.

### De trekvastheid van de lasch

In de begintijd van het booglasschen had men uitsluitend te maken met het lasschen van de normale vloeiijzersoorten, bijv. St 37 (d.i. een staal met een minimum trekvastheid van 37 kg/mm²). Eerst ongeveer 10 jaar geleden begon men ook de staalsoorten met hoogere trekvastheid, waarvan St 52 de belangrijkste vertegenwoordiger is, electrisch te lasschen; zoo werden in Duitschland verscheidene bruggen van gelascht St 52 geconstrueerd. Het resultaat was aanvankelijk een teleurstelling: in sommige van de gelaschte liggers traden scheuren op, een verschijnsel, dat men bij St 37 nooit had ontmoet. Wat was hiervan de oorzaak?

Het verschil in trekvastheid van St 37 en St 52 is te danken aan een verschillend gehalte aan zg. hardende elementen, o.a. koolstof. Wordt het koolstofhoudende ijzer van de hooge temperatuur, die bij het bereiden van het staal optreedt, snel afgekoeld, dan krijgt het een hooge hardheid, hetgeen tevens beteekent een hooge trekvastheid en vloeigrens, daar deze met elkaar en met de hardheid gecorreleerd zijn. Hoe grooter de snelheid van afkoelen, des te grootere hardheid wordt door de koolstof veroorzaakt.

Het proces van het harden wordt nu bij het lasschen als het ware nog eens herhaald, en wel op verschillende plaatsen van de lasch op verschillende wijze. Het meest gepronceerd is het harden in de overgangszône tusschen lasch en grondmateriaal, daar hier een gedeelte van het laatste bij het lasschen tot vlak onder het smeltpunt wordt verhit en daarna wegens de goede warmtegeleiding van het grondmateriaal zeer snel afkoelt, aanzienlijk sneller dan bij de bereiding van het grondmateriaal het geval was (bijv. met 50° per seconde). Het gevolg is een vergrooting van de hardheid in de overgangszône. Deze hardheidsvergrooting, die nog afhangt van het koolstofgehalte en die vaak een factor 2 kan bedragen, gaat gepaard met een vermindering van de vervormbaarheid. Bij belasting van de gelaschte constructie zullen dientengevolge eventueele vervormingen in sterkere mate door naburige deelen moeten worden opgenomen, zoodat hier bijv. een ontoelaatbare rek zal kunnen optreden.

Toen men eenmaal had ingezien, dat in dit verschijnsel een der belangrijkste oorzaken van de teleurstellingen bij het lasschen van St 52 gezocht moest worden, lag de remedie voor de hand: de voor het verkrijgen van de hooge trekvastheid van het staal gebruikte koolstof moest, althans ten deele, worden vervangen door andere hardende elementen, welker werking bij snellere afkoeling niet, of niet in die mate, toeneemt. In aanmerking komen bijv. mangaan, chroom, silicium, koper, enz. Ook deze elementen kunnen, indien in te groote hoeveelheden aanwezig, het gedrag van het staal weer nadeelig beïnvloeden, zoodat men er toe is overgegaan, om op grond van de ervaring maximale percentages vast te stellen, waarin de hardende elementen in het St 52 aanwezig mogen zijn. In *tabel I* zijn deze percentages aangegeven [1]).

**Tabel I**

Toegestane percentages van verschillende hardende elementen in St 52 [1]), en percentages der zelfde elementen in het neergesmolten materiaal van de laschstaaf Philips 55.

| | St 52 | Philips 55 |
|---|---|---|
| koolstof | 0,20% | 0,07% |
| mangaan | 1,50 *) | 0,90 |
| silicium | 0,50 | 0,30 |
| koper | 0,55 | 0,30 |
| fosfor | 0,06 | 0,02 |
| zwavel | 0,06 | 0,02 |

*) 0,30% mangaan mag ook worden vervangen door 0,40% chroom of 0,20% molybdeen.

Deze overwegingen, die tot nog toe alleen op het grondmateriaal sloegen, zijn nu ook voor de laschstaaf zelf van belang. Het ijzer van de laschstaaf, waarmee we St 52 willen lasschen, moet immers van hardende bestanddeelen worden voorzien om de gewenschte hooge trekvastheid (minstens 52 kg/mm²) te verkrijgen. Tevens echter mag in de het snelst afkoelende gedeelten van de lasch geen te groote hardheid ontstaan, zoodat het koolstofgehalte beperkt moet worden.

Bij de samenstelling van de laschstaaf type 55 is dan ook speciaal gelet op de toelaatbare grenzen

[1]) Voorschriften van de Deutsche Reichsbahn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



voor de gehalten der verschillende hardende bestanddeelen. De in tabel I in de tweede kolom gegeven cijfers toonen aan, dat het neergesmolten materiaal van de staaf nog ver onder de voor St 52 zelf voorgeschreven grenzen blijft [2]). Toch is de trekvastheid meer dan voldoende. Om deze te bepalen werd een lasch gelegd tusschen twee platen van St 52 en hieruit werd een platte trekstaaf gemaakt met de lasch in het midden, zie *fig. 1*. De trekproef leverde hiervoor een trekvastheid van 55-57 kg/mm².

De trekvastheid hangt tot op zekere hoogte nog af van de omstandigheden bij het lasschen. Bij de zoojuist genoemde proef werden de platen van St 52 „horizontaal" gelascht, dwz. de laschrups kwam horizontaal te liggen. Bij „verticaal" lasschen, en wel van onder naar boven lasschende, leverde de overeenkomstige proef een iets hoogere waarde van de trekvastheid, nl. 59 kg/mm². Legt men een lasch in een gootje van vrij dunne plaat (men krijgt dan een zg. „laschbroodje") en draait men uit het aldus neergesmolten materiaal ronde trekstaafjes (fig. 1), dan vindt men lagere waarden van de trekvastheid. Dit is ook heel begrijpelijk, daar in dit geval bij het lasschen de warmte niet snel kan wegvloeien, zoodat het neergesmolten materiaal slechts langzaam afkoelt, als het ware uitgegloeid wordt. Bij de Philips 55 werd bij dergelijke staafjes een trekvastheid van 48-52 kg/mm² gevonden en een vloeigrens van 38-41 kg/mm². In fig. 1 ziet men tevens, dat het neergesmolten materiaal een buitengewoon groote vervormbaarheid bezit: de rek bij breuk (gemeten op een lengte van 5 maal de diameter) bedraagt 35-40%, terwijl een insnoering van 74-80% optreedt. Deze groote rek en insnoering, die een waarborg bieden, dat de gelaschte constructie tengevolge van spanningen nog aanzienlijk kan vervormen zonder te breken (zg. plastische reserve van de constructie), is grootendeels aan dezelfde maatregelen te danken, die voor het opvoeren van de kerftaaiheid van de Philips 55 werden genomen. Hierop willen we nu nader ingaan.

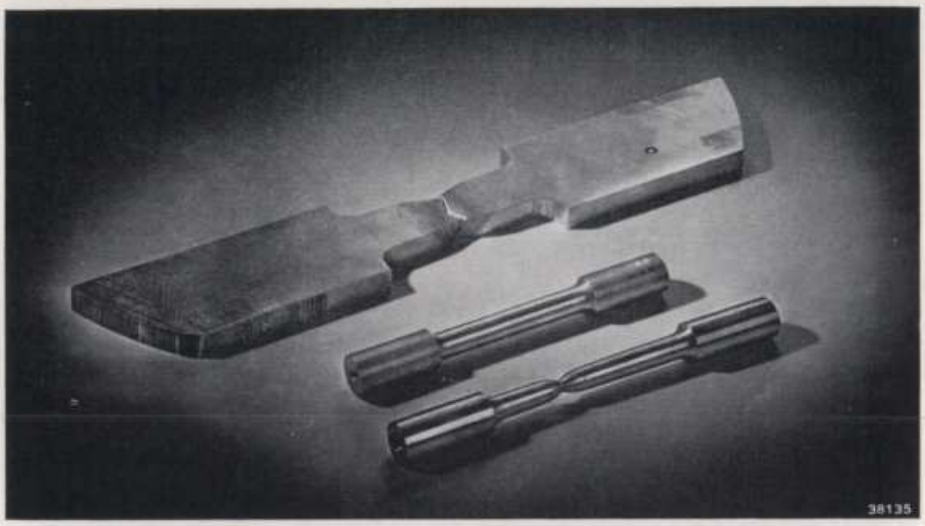



Fig. 1. Platte trekstaaf, gemaakt uit een lasch met de laschstaaf Philips 55 tusschen twee platen van St 52; de trekvastheid van het staal lag eenigszins aan de hooge kant, zij bedroeg nl. 60 kg/mm². Hierdoor treedt de breuk, zooals bij deze proef gewenscht is, in de lasch zelf op, en niet er buiten. De ronde trekstaafjes zijn geheel uit neergesmolten materiaal vervaardigd. Opmerkelijk is de groote rek en de sterke insnoering van de gebroken staven.

**De kerftaaiheid van de lasch**

Terwijl de getallen van de trekvastheid en van de vloeigrens alleen het maximum resp. een voor den constructeur speciaal belangrijk punt van het krachtrek-diagram aangeven, levert het getal van de kerftaaiheid een soort integraal over een dergelijk diagram, nl. de arbeid, welke de vervormende kracht in totaal moet leveren bij het breken van de proefstaaf in twee stukken. Deze arbeid is vooral van belang voor die gevallen, waar de vervormingen zich op één punt van het werkstuk concentreeren, daar dan de rest van het werkstuk als het ware niet meehelpt om vervormingsarbeid op te nemen. Een dergelijke concentratie (plaatselijke spanningsverhooging) treedt geregeld op bij meer of minder scherpe kerven (vandaar de kerfslagproef), bij overgangen van dik in dun profiel, enz.

Ook in lasschen zullen vaak dergelijke spannings-

[2]) Het betrekkelijk groote gehalte aan koper is gunstig voor de corrosiebestendigheid van de lasch.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



verhoogingen voorkomen en het is dus alleszins gemotiveerd om voor het neergesmolten laschmateriaal ook een hooge kerftaaiheid te eischen.

De kerftaaiheid van een staal blijkt in de hoogste mate te worden beïnvloed door zijn gehalte aan stikstof, zooals *fig. 2* laat zien [3]). Natuurlijk is het verband niet altijd hetzelfde, immers ook de verdere chemische samenstelling speelt een rol. Toch is de algemeene conclusie stellig juist, dat met toenemend stikstofgehalte de kerftaaiheid daalt. Goede staalsoorten bevatten dan ook slechts weinig stikstof. Bij het lasschen echter bestaat het gevaar, dat stikstof in atomaire vorm uit de lucht wordt

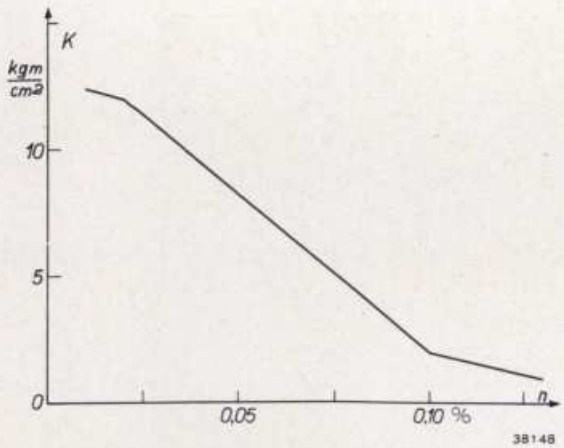



Fig. 2. Verloop van de kerftaaiheid $K$ als functie van het stikstofgehalte $n$ in gewichtsprocenten [3]).

opgenomen (bij de hooge temperatuur van de laschboog is de lucht grootendeels in atomaire zuurstof en stikstof gesplitst). Het tegengaan hiervan is een der belangrijkste opgaven van de bekleeding van de laschstaaf. In de eerste plaats vormt deze een min of meer afsluitende slaklaag op het gesmolten ijzer. Verder kan de bekleeding zoo worden samengesteld, dat zij bij het verhitten groote hoeveelheden van (op zichzelf onschadelijke) gassen ontwikkelt, die een beschermende atmosfeer rondom het gesmolten materiaal vormen. Vooral organische bestanddeelen, zooals zetmeel, houtmeel, enz., worden hiervoor toegepast. Bij de staaf type 55 is een andere weg gekozen om de stikstof-werende werking van de bekleeding te versterken, nl. het toevoegen van stoffen, die in staat zijn om tot op zekere hoogte een chemische binding van de stikstof (en ook zuurstof) te bewerkstelligen. Dank zij deze maatregelen kon het percentage stikstof in het neergesmolten materiaal tot de zeer lage waarde van 0,01% worden teruggebracht. Ter vergelijking is in *tabel II* het stikstofgehalte voor eenige andere gebruikelijke soorten laschstaven aangegeven. Men ziet hierin tevens, dat parallel

**Tabel II**

Stikstofgehalte en kerftaaiheid van het neergesmolten materiaal van verschillende soorten laschstaven.

| Type laschstaaf | Stikstofgehalte in % | Kerftaaiheid (5×10) in kgm/cm² |
|---|---|---|
| Onbekleede staaf | 0,15 | 1 |
| Middelmatig dik bekleede staaf | 0,07 | 4 |
| Dik bekleede normale kwaliteitsstaaf | 0,035 | 10 |
| Middelmatig dik bekleede staaf met ten deele organische bekleeding | 0,025 | 11 |
| Dik bekleede staaf Philips 55 | 0,010 | 18 |

met de daling van het stikstofgehalte de verwachte sterke toename van de kerftaaiheid loopt; bij de Philips 55 bedraagt deze 17 à 20 kgm/cm² op een te breken doorsnede van 5×10 mm², en 23 à 26 kgm/cm² op een te breken doorsnede van 7×10 mm².

De genoemde waarden van de kerftaaiheid zijn gemeten aan kerfslagstaafjes, die op de in *fig. 3* geschetste wijze uit de gelaschte verbinding werden vervaardigd. De kerf is hierbij zoo ver van het grondmateriaal verwijderd, dat dit geen invloed op het resultaat heeft. Opmerkelijk is de goede re-

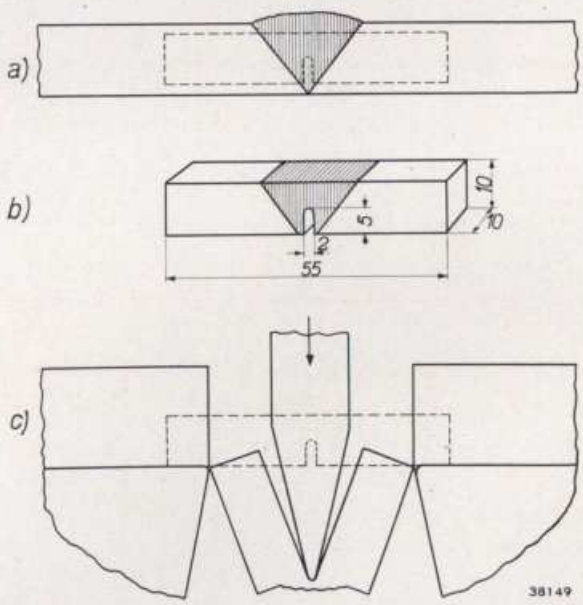



Fig. 3. Hoe de staafjes ($b$) voor de kerfslagproef ($c$) uit een lasch worden gemaakt ($a$). Het neergesmolten materiaal is gearceerd.

[3]) Fig. 2 is ontleend aan W. Bischof en W. Püngel, Z. Westfälische Union Augustus 1939, pag. 13. Wat het algemeene verloop betreft, is de kromme in overeenstemming met waarnemingen van anderen, bijv. D. Séférian, Diss. Parijs 1935, wiens resultaten reeds door J. Sack in dit tijdschrift werden besproken (Philips techn. T. 2, 129, 1935).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



produceerbaarheid van de kerfslagproef: *fig. 4* toont een serie van 12 geslagen staafjes van $5 \times 10$ mm² doorsnede, waarvan de kerftaaiheid niet sterker de kerftaaiheid daalt van 11 kgm/cm² bij 20 °C tot 6 kgm/cm² bij —50 °C, zien we de kerftaaiheid bij de Philips 55 zich bij —50 °C nog op een waarde

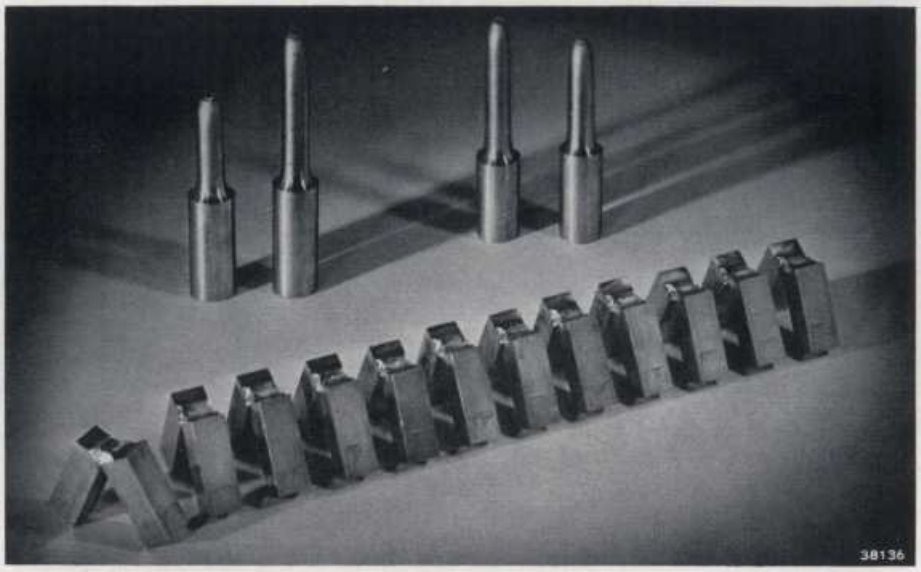



Fig. 4. Serie van 12 staafjes uit lasschen met de Philips 55, waarop de kerfslagproef is toegepast. De uitkomsten blijken zeer goed reproduceerbaar. De staafjes zijn niet geheel gebroken, maar door de slaghamer tusschen de oplegstukken doorgedrukt. Om de werkelijke kerftaaiheid te krijgen moet derhalve bij de gemeten vervormingsarbeid nog een kleine (niet nader bekende) arbeid worden opgeteld, die noodig zou zijn om de twee helften van het staafje geheel van elkaar te scheiden.

uiteen bleek te loopen dan van 17,2 tot 19,5 kgm/cm².

Bij deze getallen dient te worden vermeld, dat zij verkregen zijn bij normale temperatuur (ca 20 °C). In tegenstelling nl. met alle andere den constructeur interesseerende materiaaleigenschappen, is de kerftaaiheid zeer sterk afhankelijk van de temperatuur, en wel bij alle staalsoorten op analoge wijze: er is een uitgesproken minimum bij 400-500 °C en een steile daling bij temperaturen beneden het nulpunt. De beteekenis van deze sterke daling van de kerftaaiheid bij lage temperaturen (de zg. koudbrosheid) is vroeger door de constructeurs vaak niet voldoende beseft; zij is een der oorzaken geweest van verschillende ongevallen, waarbij gelaschte bruggen gedurende strenge vorst scheuren zijn gaan vertoonen [4]). Vergelijkt men nu het verloop van de kerftaaiheid voor het neergesmolten materiaal van de staaf 55 met de kromme voor een normale goede laschstaaf, *fig. 5*, dan ziet men, dat de zooveel hoogere waarde van de kerftaaiheid de kromme als het ware in haar geheel heeft doen omhoogschuiven. Terwijl bij de normale laschstaaf van ca 14 kgm/cm² handhaven. Eerst bij nog lagere temperaturen, die echter in de bewoonde wereld niet voorkomen, zou de kerftaaiheid tot gevaarlijk lage waarden dalen.

Ook in ander opzicht dan wat betreft de temperatuur is de kerftaaiheid een bijzonder „gevoelige" materiaaleigenschap. Bij de warmtebehandeling bijv., die men gelaschte constructies soms laat

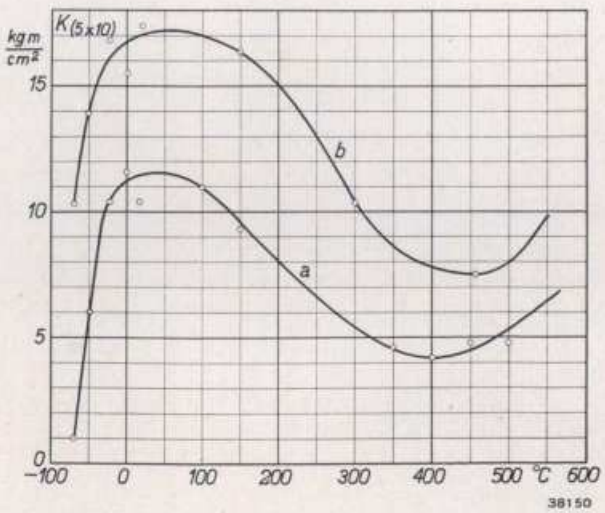



Fig. 5. Verloop van de kerftaaiheid $K$ met de temperatuur, *a*) voor een normale goede laschstaaf, *b*) voor de laschstaaf Philips 55.

[4]) Het betreft hier de brug van de Reichsautobahn bij Rudersdorf en de beide bruggen bij Herenthals en Kaulille over het Albert-kanaal.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



ondergaan om tengevolge van het lasschen ontstane spanningen te verwijderen, blijkt bij sommige soorten laschstaven de kerftaaiheid van het neergesmolten materiaal enorm te dalen, zelfs tot op $^1/_{10}$ van de oorspronkelijke waarde, terwijl andere eigenschappen, zooals trekvastheid en rek, hierbij slechts betrekkelijk geringe en geheel in de lijn van de verwachting liggende veranderingen vertoonen. Een dergelijke sterke teruggang van de kerftaaiheid moet dan hoofdzakelijk weer worden toegeschreven aan een te groot gehalte aan stikstof in het snel afgekoelde neergesmolten materiaal [5]). Deze wordt bij de naverhitting in de vorm van $Fe_4N$ aan de kristalgrenzen afgescheiden, waardoor een brosser materiaal kan resulteeren. In overeenstemming met deze verklaring is het effect bij lasschen met de Philips 55, waar het neergesmolten materiaal slechts heel weinig stikstof bevat, uiterst klein. Zelfs na het zg. normaliseerende gloeien (op 920 °C) wordt hier de oorspronkelijke hooge waarde van de kerftaaiheid teruggevonden.

De vermelde afscheiding van stikstof vindt ook reeds bij kamertemperatuur plaats, zij het dan uiterst langzaam. Hieraan (o.a.) schrijft men het zg. verouderen van het neergesmolten materiaal toe. Daar proeven hierover zich over een zeer lang tijdperk zouden moeten uitstrekken, past men voor het beoordeelen van het materiaal in dit opzicht meestal een kunstmatige verouderingsproef toe: door het materiaal te rekken (10%) en daarna te ontlaten ($^1/_2$ uur op 250 °C) wordt een soort van versnelde veroudering bewerkstelligd. Bij het neergesmolten materiaal van de staaf 55 bleek hiermee slechts een geringe daling van de kerftaaiheid gepaard te gaan, nl. van 17,7 tot 13,5 kgm/cm², terwijl voor een normale kwaliteits-laschstaaf een daling van 10,4 tot 4,5 kgm/cm² werd gevonden.

Ter afronding van het beeld der eigenschappen van de Philips 55 zij hier nog vermeld, dat de vermoeïngsbuigvastheid (belasting noodig voor breuk na $5 \cdot 10^6$ omwentelingen) 26-28 kg/mm² bedraagt, een waarde in de buurt van die voor St 52; verder dat de lasschen goed smeedbaar zijn en dat ook de zg. buigproef zeer goede resultaten levert. Eenige staven, die aan de laatstgenoemde proef werden onderworpen, zijn in *fig. 6* weergegeven; nadere toelichting in het onderschrift.

[5]) Een aantal soorten laschstaven werden in dit opzicht onderzocht door H. G. Geerlings. De hier genoemde resultaten zijn door hem gepubliceerd in Laschsymposium 1940-1941, pag. 13. Vermeld dient te worden, dat bij het terugloopen van de kerftaaiheid ook de zuurstof een rol speelt, waarvan men in het neergesmolten materiaal bijna steeds 2 à 3 maal zooveel aantreft dan van stikstof. Over de rol van de zuurstof is echter veel minder met zekerheid bekend dan over die van de stikstof.

Fig. 6. Een veel toegepaste methode voor het beproeven van gelaschte verbindingen is de buigproef. Een staaf, die in het midden de lasch bevat, wordt over een doorn van bepaalde diameter gebogen, totdat scheuren optreden. De hier afgebeelde 10 mm dikke staven zijn gemaakt van St 52, in een V-lasch gelascht met de Philips 55, en over een doorn van 30 mm diameter gebogen. Bij een buighoek van 180° is de lasch nog intact, ook in de voorste staaf, die na het buigen werd platgedrukt.

## Het lasschen van „moeilijke" staalsoorten

Terwijl in het bovenstaande was uitgegaan van de gedachte, dat het neergesmolten materiaal in zijn eigenschappen de evenknie moest zijn van het grondmateriaal, zijn er ook wel gevallen, waar men deze eisch niet behoeft te stellen en waar men toch moeilijkheden bij het lasschen ondervindt. Tracht men bijv. speciale staalsoorten, zooals St C 45 (een zeer hard staal met een koolstofgehalte van 0,45%), St C 60 enz. met een normale goede laschstaaf te lasschen, dan treden vaak na het afkoelen scheuren in de lasch op. Bij nader inzien is dit ook niet verwonderlijk. Nog afgezien van de sterke hardheidsverhooging in de overgangszône, die door het hooge koolstofgehalte van het grondmateriaal wordt veroorzaakt, is het grondmateriaal op zichzelf al zoo hard en weinig vervormbaar, dat reeds bij het krimpen tijdens het afkoelen zeer groote eischen worden gesteld aan de vervormbaarheid van het neergesmolten materiaal. Dank zij de hooge taaiheid en de aanzienlijke plastische reserve van het neergesmolten materiaal van de Philips 55 blijkt het mogelijk, met deze staaf ook de genoemde moeilijke, zeer harde staalsoorten te lasschen. Dit wordt door *fig. 7* gedemonstreerd, terwijl in *fig. 8* en *9* een voorbeeld uit de practijk is weergegeven, waarin van de genoemde mogelijkheid gebruik is gemaakt. In de gietstalen kop van een zware pers (300 ton perskracht) moest een 50 mm dikke versterkingsplaat van St 37 worden gelascht. Ondanks het hooge

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



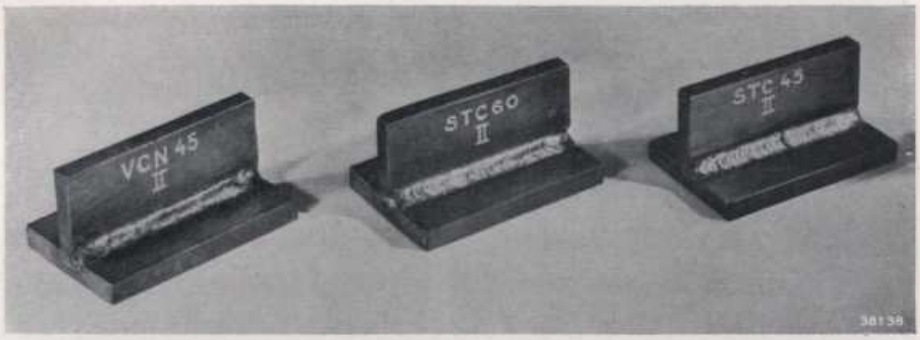



Fig. 7. Hoeklasschen op drie verschillende zeer harde staalsoorten. De lasschen zijn gemaakt met de Philips 55 volgens een door de Deutsche Reichsbahn genormaliseerde methode voor het controleeren van de scheurvrijheid. Behalve een enkel zeer klein kraterscheurtje werden in geen der drie weergegeven gevallen scheuren gevonden.

koolstofgehalte van het gietstaal (0,60%) en de groote afmetingen van de te lasschen deelen kon een scheurvrije lasch worden verkregen. Ter beperking van de afkoelsnelheid werd de perskop vóór het lasschen op 125 °C verwarmd.

Een ander soort moeilijkheid, die bij het lasschen kan optreden, is de vorming van gasbellen in de overgangszône — meestal te wijten aan verontreinigingen in het laagje van het grondmateriaal, dat zich met het neergesmolten materiaal mengt. Komen deze gassen vrij op een ongunstig moment, nl. tijdens het stollen van het materiaal, dan kunnen zij onder bepaalde omstandigheden niet meer ontsnappen, resp. het gesmolten materiaal kan de holten niet meer geheel opvullen, en men krijgt een poreuze lasch, met holten en kraters. Het behoeft geen betoog, dat dit de mechanische eigenschappen van de gelaschte verbinding zeer benadeelt, vooral ook, doordat van de gasholten uit scheuren kunnen ontstaan.

Fig. 8. Pers van 300 ton perskracht, tijdens de montage. In de kop van de pers is met de Philips 55 een versterkingsplaat van 50 mm dikte gelascht. De kop is van gietstaal (0,60% koolstof), de versterkingsplaat van St 37.

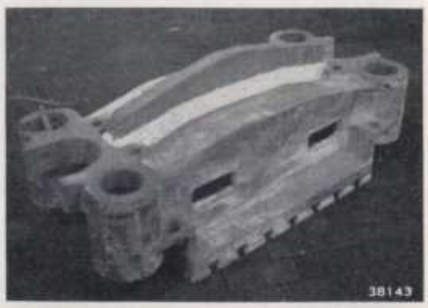



Fig. 9. Kop van de pers van fig. 8, met ingelaschte versterkingsplaat.

Men heeft de ervaring opgedaan, dat vaak een te groot gehalte aan zwavel in het grondmateriaal voor deze vorming van gassen met de daaruit resulteerende porositeit aansprakelijk moet worden gesteld [6]). Nu is uit de metallurgie bekend, dat bij het zg. basische Siemens-Martin-proces een ontzwaveling van het ijzer wordt verkregen door kalk

[6]) Een belangrijk voorbeeld uit de practijk is te vinden bij L. Reeve, Trans. Inst. Welding **3**, 11, 1940. Hierin wordt gerapporteerd over het geval van de brug bij Hasselt (België), die eenige jaren geleden is ingestort. Foto's van preparaten uit de gelaschte knooppunten dezer brug vertoonen gasholten op plaatsen vlak naast het grondmateriaal, waar dit laatste resp. 0,095 en 0,063% zwavel bevatte.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



in een reduceerend milieu. De zwavel wordt dan grootendeels door het calcium gebonden, waarvoor men de reactie-vergelijking kan aannemen:

$$FeS + CaO + C \rightarrow Fe + CaS + CO.$$

Het gevormde calciumsulfide wordt, in tegenstelling met het ijzersulfide, geheel in de slak opgenomen, waardoor het zwavelgehalte van het staal vermin-

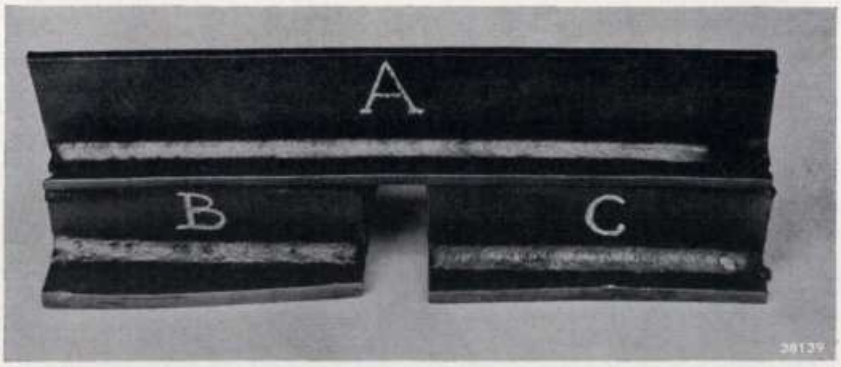



Fig. 10. *A* hoeklasch, gemaakt met een normale kwaliteits-laschstaaf op St 37 met normaal zwavelgehalte (0,03%). *B* hoeklasch met dezelfde staaf op een zwavelrijk staal (0,09%); duidelijk ziet men verschillende gaatjes in de lasch, die een „verbrand uiterlijk" heeft (zg. pokdaligheid). *C* hoeklasch op hetzelfde zwavelrijke staal met de Philips 55; de lasch is geheel gaaf.

derd wordt. Ook de bekleeding van de Philips 55 is op kalkbasis samengesteld, zoodat hier in het gesmolten materiaal, dat in innig contact is met de slak, eveneens een binding van eventueel in het grondmateriaal aanwezige zwavel wordt verkregen. Dit kwam goed tot uiting in een proef, waarbij een zwavelarm en een zwavelrijk staal (0,03 resp. 0,23% zwavel) met de Philips 55 werden gelascht, terwijl daarna de slak chemisch werd geanalyseerd. In het tweede geval bleek zij 2 à 3 maal zooveel zwavel te bevatten als in het eerste. Dat de Philips 55 bij het lasschen inderdaad niet gevoelig is voor zwavel, wordt duidelijk aangetoond door *fig. 10*, waarin hoeklasschen zijn afgebeeld, die op een staal met veel zwavel (0,09%) werden gelegd met de Philips 55 resp. met een normale goede, echter voor zwavel gevoelige laschstaaf. Nog sprekender is het verschil, wanneer men tracht, zg. automatenstaal te lasschen. Dit staal bevat zeer veel zwavel in de vorm van FeS, waaraan het de gemakkelijke bewerkbaarheid dankt, die het voor verwerking in automatische draaibanken enz. geschikt maakt. *Fig. 11* laat een hoeklasch zien in automatenstaal met 0,23% zwavel (en bovendien 0,08% fosfor), waarvan de rechter helft met een normale kwaliteits-laschstaaf is gelascht, de linker helft met de Philips 55. De laatste helft is geheel dicht en, zooals trek- en buigproeven aantoonden, mechanisch zeer bevredigend, terwijl de met een normale staaf verkregen lasch geheel poreus en mechanisch onbruikbaar is. Het is dan ook niet te veel gezegd, wanneer men constateert, dat met de Philips 55 staalsoorten kunnen worden gelascht, die tot nog toe als niet laschbaar werden gequalificeerd.

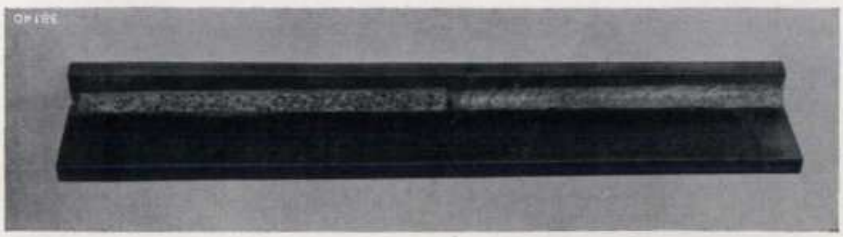


Fig. 11. Hoeklasch in automatenstaal (0,23% zwavel, 0,08% fosfor). De rechter helft is gelascht met een normale goede laschstaaf (geheel poreuze lasch), de linker helft met de Philips 55 (dichte lasch).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



# GLOEILAMPEN VOOR SERIESCHAKELING

door N. A. HALBERTSMA en J. A. M. van LIEMPT. 621.316.062.2 : 621.326

Hoewel men tegenwoordig in den regel bij het aansluiten van verschillende gebruikstoestellen op een voedingsnet parallelschakeling toepast, kan onder bepaalde omstandigheden voor verlichtingsdoeleinden serieschakeling toch wel voordeelen bieden. Teneinde te vermijden, dat de geheele installatie uitgaat, als één der lampen defect raakt, treft men dan speciale voorzieningen, die in dit artikel nader worden besproken.

## Inleiding

De voordeelen van parallelschakeling voor de in een verlichtingsinstallatie gebruikte lampen ten opzichte van de vroeger veel toegepaste serieschakeling komen voornamelijk hierop neer, dat de lampen onafhankelijk van elkaar branden. Meestal wordt dit van zoo groot belang geacht, dat men bij het uitwerken van verlichtingsprojecten geen andere mogelijkheid pleegt te overwegen. Bij wijze van uitzondering wordt echter ook serieschakeling toegepast, hoewel men dan de mogelijkheid van het inschakelen van een willekeurig aantal lampen en de vrije keuze van de grootte der lampen moet opofferen.

Gemotiveerd is het gebruiken van serieschakeling, indien

1) de beschikbare spanning te hoog is voor de te gebruiken gloeilampen,
2) de vereenvoudiging, die de installatie daardoor ondergaat, van belang is.

De gevallen, waarin serieschakeling wordt gebruikt, zooals de verlichting van trams en treinen, de illuminatie- en kerstboomverlichting en — in beperkte mate — de straat- en wegverlichting, kan men dan ook steeds bij één dezer beide groepen indeelen.

## De voorhanden spanning is te hoog voor de beschikbare gloeilampen

Bij wisselstroominstallaties kan men op eenvoudige wijze met behulp van een transformator de spanning verlagen tot elke gewenschte waarde. Bij gelijkstroominstallaties staat echter de spanning vast. Daarom wordt voor het verlichten van trams en treinen meestal serieschakeling van gloeilampen toegepast. De gelijkspanning aan de rijdraad is veelal 500 à 600 Volt; de hoogste spanning, waarvoor gloeilampen worden gemaakt, bedraagt 260 V. In den regel schakelt men bij een spanning van 600 V telkens 5 lampen van 120 V in serie; soms geeft men ook de voorkeur aan een grooter aantal

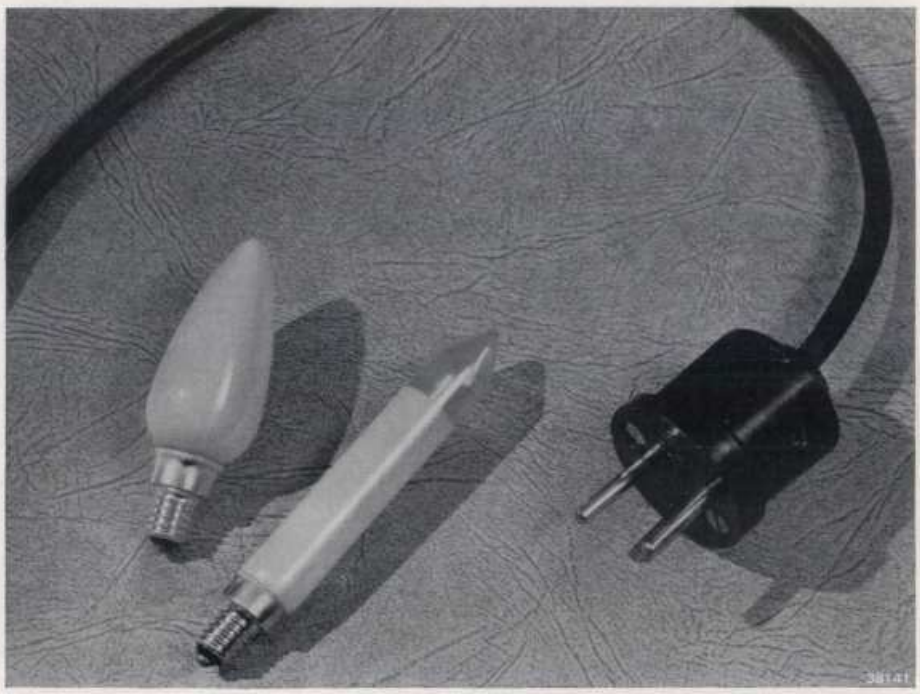


Fig. 1. Illuminatielampje en kerstboomlampje, beide voor 14 V, 3 k.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



lampen van een lagere spanning. Bedraagt de rijdraadspanning 1500 V, zooals dat o.a. het geval is bij de Nederlandsche Spoorwegen, dan brengt men deze spanning ongaarne in het voor het publiek toegankelijke gedeelte van de spoorwagen. Men gebruikt dan liever een omvormer, die stroom levert aan een verdeelsysteem voor de verlichting en voor andere doeleinden, waarbij weer gewoon parallelschakeling wordt toegepast.

Ook de gebruikelijke netspanningen van 220-230 V en 130 V kunnen in sommige gevallen feitelijk te hoog zijn voor de lampen, die men wenscht te gebruiken. De kleinste normale gloeilamp voor 220-230 V en voor 130 V heeft een lichtstroom van 15 Dlm en een vermogen van ongeveer 15 W. Lampen van kleiner vermogen, bijv. illuminatie- en kerstboomlampjes, moeten, daar men ten opzichte van de draaddikte aan een onderste grens is gebonden, voor een lagere spanning worden gemaakt. Het meest gebruikelijk is een spanning van 14 V bij een lichtsterkte van 3 k. Bij een vermogen van 3,75 W hebben deze lampjes een stroomsterkte van 0,27 A. De draad is kort en stevig, het lampje, dat kleine afmetingen heeft (*fig. 1*), kan van een zg. dwerghuls worden voorzien. De lamphouder krijgt dus kleine afmetingen, hetgeen van belang is, daar deze lampen voor versiering worden gebruikt. Op een net van 220 V schakelt men dan 16 van zulke lampjes in serie en op netten van lagere spanning een evenredig kleiner aantal.

**De vereenvoudiging der installatie**

Bij serieschakeling heeft men slechts één geleider, die van lamphouder tot lamphouder gaat, terwijl men bij parallelschakeling telkens twee draden moet aftakken naar elke lamphouder. Dit maakt de installatie zooveel eenvoudiger, dat men in bepaalde gevallen aan serieschakeling de voorkeur zal geven. Het aanbrengen bijv. van de — uit den aard der zaak slechts tijdelijke — kerstboomverlichting, gaat met een enkelvoudig dun snoer veel sneller dan met het dikkere dubbele snoer, dat bij parallelschakeling zou moeten worden gebruikt.

De vereenvoudiging der installatie speelt eveneens een rol bij het uitvoeren van straatverlichtingsinstallaties met serielampen, zooals dit vooral in de Vereenigde Staten opgang heeft gemaakt. Voor nieuwe installaties wordt echter ook in Amerika meestal de voorkeur gegeven aan parallelschakeling. In Europa heeft men het seriesysteem voor straatverlichting alleen in Italië op groote schaal toegepast.

Indien een traject van groote lengte met lichtbronnen van klein vermogen en groote onderlinge afstand moet worden verlicht, kan serieschakeling der lampen voordeelen bieden, wat de installatiekosten betreft. Zoo bevindt zich langs de beide oevers van het Noordzeekanaal over 24 km een serie-installatie met lampen van 65 W op onderlinge afstanden van 280 m.

**Nadeelen van de serieschakeling in het bedrijf**

Naast het reeds genoemde bezwaar, dat men bij serieschakeling der gloeilampen het aantal brandende lampen niet willekeurig kan wijzigen, komt als verder nadeel het feit, dat het defect raken van één lamp het dooven van de geheele serie tengevolge heeft. In een tramwagen kan dit bijv. zeer onaangenaam zijn, temeer daar men dan in het donker zou moeten uitzoeken, welke lamp is doorgebrand, teneinde deze te kunnen verwisselen. De doorgebrande lamp is echter van buiten af niet te herkennen en het zoeken naar de doorgebrande lamp was dan ook lange tijd een onaangename factor bij het gebruiken van serieschakeling voor gloeilampen.

Reeds vroegtijdig heeft men daarom, speciaal voor straatverlichting, inrichtingen gemaakt voor het automatisch kortsluiten van een defect geraakte lamp. Men bereikt hierdoor twee dingen, nl.

1) dat alle lampen van de serie, behalve de defecte, verder blijven branden,
2) dat men de defecte lamp gemakkelijk kan vinden, daar alleen deze donker blijft.

Om de belastingstoestand van het net geheel onveranderd te laten zou men feitelijk de doorgebrande lamp moeten vervangen door een even groote weerstand. Sluit men echter de lamp kort, dan daalt de weerstand van de geheele serie en daardoor zal de stroomsterkte iets toenemen. Hoe kleiner het aantal in serie geschakelde lampen is, des te sterker zullen de overblijvende lampen worden overbelast. In een tram, waar bijv. 5 lampen van 120 V in serie branden, zou de spanning per lamp met 25%, dwz. tot 150 V stijgen! Het is dan noodzakelijk maatregelen te treffen om de stroomsterkte spoedig weer op de normale waarde te brengen, teneinde te vermijden, dat nog meer lampen doorbranden tengevolge van hun overspanning. Is een dergelijke voorziening niet mogelijk, dan verdient het aanbeveling om serielampen van een lagere spanning te gebruiken. Spanningen van 24, 30, 40 en 50 V komen hiervoor in aanmerking.

**Automatische kortsluitinrichtingen voor doorgebrande serielampen**

Voor het automatisch kortsluiten van een serie-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



lamp zijn in de loop van de tijd zeer verschillende mogelijkheden voorgesteld. Men heeft bijv. gebruik gemaakt van de onderbreking van de stroom om met behulp van een relais de lamp kort te sluiten of te vervangen door een even groote weerstand. De onderbreking van het licht kan hierbij zoo kort zijn, dat nauwelijks meer dan een korte flikkering wordt opgemerkt.

Men kan ook van het oploopen der spanning aan de polen van de defecte lamp gebruik maken om kortsluiting te bewerkstelligen. Dit geschiedt dan, doordat een zeer dun laagje isolatiemateriaal, hetwelk tusschen twee metaalcontacten is geklemd, doorslaat. In de Vereenigde Staten worden bij straatverlichting met serieschakeling in den regel dergelijke doorslagpatronen gebruikt, die uit twee aluminiumplaatjes bestaan, waarvan het ééne voorzien is van een dun isoleerend laagje, dat bij ca 400 V doorslaat. Deze patronen zijn tusschen twee aan de lamphouder bevestigde contactveeren geklemd, die tevens zorgen voor de aansluiting van de lamphouder aan de leidingen, die de stroom toevoeren. Is een lamp doorgebrand, dan kan men deze met de lamphouder samen uit het armatuur halen en zoowel de lamp als het doorslagpatroon tegen nieuwe verwisselen, zonder eenige kans op het aanraken van gedeelten, die onder spanning zouden kunnen staan.

Het uitschroeven van een lamp, die deel uitmaakt van een serie-installatie, is behalve wegens de mogelijkheid van aanraken van spanning voerende deelen ook om een andere reden gevaarlijk. Mocht nl. het circuit nog stroom voeren, dan zal vooral bij gelijkstroom tusschen het middencontact van de lamphouder en het middencontact van de huls een lichtboog ontstaan, die de genoemde metaaldeelen afsmelt. De in *fig. 2* afgebeelde lamphouder heeft om dit te vermijden nog een kortsluitcontact, dat met het veerende middencontact in verbinding staat en in werking treedt, zoodra men de lamp eenige mm uit de huls heeft geschroefd en voordat de aanraking met het middencontact van de huls is opgeheven.

Analoog aan de „smeltveiligheid", die bij het overschrijden van een bepaalde stroomsterkte in werking treedt, kan men de doorslagpatronen „spanningsveiligheden" noemen, daar zij in werking treden, zoodra een bepaalde spanning wordt bereikt, hooger dan de bedrijfsspanning van de gloeilamp, waarmee deze spanningsveiligheid parallel is geschakeld, maar lager dan de netspanning.

De spanningsveiligheden, die in de lamp zelf kunnen worden bevestigd of afzonderlijk bij de lamphouder worden gemonteerd, moeten aan zeer uiteenloopende eischen voldoen. Bij de bedrijfsspanning voor één serielamp moeten zij een oneindig groote weerstand hebben, maar bij de totale aan de serie gelegde spanning moeten zij met zekerheid doorslaan en een goed geleidende brug voor de stroom vormen. Bij straatverlichting met serielampen is dit, tengevolge van de hooge optredende spanningen, niet moeilijk te verwezenlijken. Er bestaan talrijke isoleerende stoffen, die in een zeer dunne laag aan spanningen van 3000-10 000 V blootgesteld, door zullen slaan, terwijl zij bij eenige honderden volt practisch geen geleiding vertoonen.

Bij tramverlichting moet de doorslagspanning beneden 400 à 500 V liggen en boven de stempelspanning van de lamp, en wanneer men om een ander voorbeeld te noemen een serie illuminatielampjes van 7 of 14 V op een net van 110 V aansluit, moet de spanningsveiligheid tusschen 20 en 100 V functionneeren. Hiervoor zijn zeer dunne isoleerende laagjes noodig, die met een geringe spreiding in de doorslagspanning gemaakt dienen te worden, hetgeen inderdaad mogelijk is.

Voor het functionneeren van de spanningsveiligheid maakt het een groot verschil, of de in serie geschakelde lampen vacuumlampen of met gas gevulde lampen zijn. Brandt de gloeispiraal van een niet van een spanningsveiligheid voorziene vacuumlamp door, dan kan tengevolge van de afwezigheid van gasmoleculen in voldoende hoeveelheid, geen electrische ontlading ontstaan, het

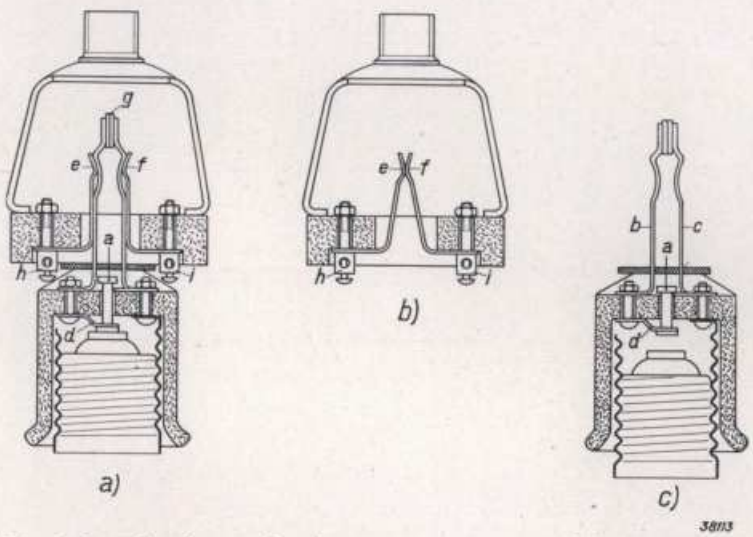



Fig. 2. Lamphouder met doorslagpatroon voor straatverlichting met serielampen. *a*) in bedrijfstoestand, *b*) lamphouder met lamp en spanningsveiligheid verwijderd en *c*) lamphouder met spanningsveiligheid, waarin een lamp wordt geschroefd. *a* contact, *b* en *c* polen, *d* strip, *e* en *f* veerende contacten, *g* doorslagpatroon, *h* en *i* aansluitklemmen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



vacuum werkt als een isolator en de stroom wordt eenvoudig verbroken. Anders daarentegen bij een met gas gevulde serielamp zonder spanningsveiligheid. Hier zal, wanneer bij de brandende lamp de spiraal breekt, de stroom niet dadelijk verbroken behoeven te worden. Er kan dan een lichtboog tusschen de beide uiteinden van de onderbroken spiraal ontstaan, die de uiteinden op zoo hooge temperatuur brengt, dat zij beginnen te smelten. De andere lampen van de serie dienen nu als weerstand, die deze boogontlading stabiliseert. Het komt voor, dat de spiraal geheel wegsmelt, de boog slaat dan over op de electroden of de polen van de lamp. Deze smelten dan ook op, zoodat de boog, tenzij de lamp reeds van te voren is bezweken tengevolge van de ontwikkelde warmte, tenslotte in de buurt van de lampvoet belandt (*fig. 3*) en niet alleen het glas

Fig. 3. Afbeelding van een door een boogontlading afgesmolten serielamp.

met de stroomtoevoerende draden vernielt, maar ook op de lamphuls en zelfs op de metaaldeelen van de lamphouder kan overgaan. Een dergelijke onderbrekingsboog kan, vooral bij gelijkstroom, onder bepaalde voor zijn voortbestaan gunstige omstandigheden, aanzienlijke schade aanrichten.

Iets dergelijks kan, zooals gezegd, slechts gebeuren, indien een spanningsveiligheid niet aanwezig is of niet functionneert, waarvoor een zekere kans bestaat, daar de spanning van de boog beneden de doorslagspanning van de spanningsveiligheid kan blijven. Men zou op de gedachte kunnen komen, de spanning van een eventueel ontstaande boog daardoor op te voeren, dat men de electroden, die de stroom toevoeren, zoover mogelijk

Fig. 4. Ter bevordering van een snel optreden van kortsluiting bij doorbranden van de gloeidraad zijn de toevoerdraden van deze serielamp bij *A* dicht bij elkaar gebracht.

van elkaar plaatst. Dit zou echter met het oog op het inbrengen van het gloeilichaam door de nauwe ballonhals moeilijkheden opleveren; daarom heeft men de oplossing juist in de tegenovergestelde richting gezocht, nl. door de polen zeer dicht bij elkaar te brengen. Blijft de lichtboog staan, dan zullen de electroden afsmelten, totdat bij *A* in *fig. 4* de gesmolten metaaldruppels aan de uiteinden van de nikkeldraden de lamp zullen kortsluiten en daardoor een onderbreking van het circuit en tevens een beschadiging van de lamphouder voorkomen.

Heeft de lamp zeer korte electroden, die moeilijk naar elkaar toe gebogen kunnen worden, dan voorziet men deze van afzonderlijke draden, die als „boogvanger" dienst doen (*fig. 5*). Al heeft men deze maatregelen genomen, toch wordt de spanningsveiligheid hierdoor niet overbodig. Men denke bijv. aan het geval, dat een spiraal breekt (bijv. door stooten), terwijl de lamp niet brandt. Bij het inschakelen van de serie ontstaat dan geen boog; nu moet de spanningsveiligheid doorslaan en de defecte lamp kortsluiten, zoodat de serie lampen toch gaat branden.

De spanningsveiligheid wordt bij de serielampen verschillend uitgevoerd naar gelang van de spanning, waarbij zij in werking moet treden. Het vroeger gebruikte dunne velletje papier is algemeen vervangen door een isoleerend materiaal, dat op metaal wordt aangebracht. Men neemt hiertoe bij voorkeur

Fig. 5. Serielamp met afzonderlijk aangebrachte boogvanger *B*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



metaaloxyden, welke goed isoleeren. Bij het oxydatieproces heeft men het in de hand het oxydehuidje de juiste dikte te geven. Meestal wordt een laagje van aluminiumoxyde gebruikt, dat bij de voor een doorslagspanning van ongeveer 400 V gebruikelijke afmetingen een weerstand heeft van $10^8$ ohm en dus als isolator mag worden beschouwd. Na de doorslag daalt deze weerstand practisch tot nul. Voor illuminatie- en kerstboomlampjes moet de doorslagspanning zoo laag liggen (beneden 100 V) dat men hiervoor aluminiumoxyde niet kan gebruiken. Het laagje zou zoo dun worden, dat het practisch niet is te verwerken. Daarom gebruikt men hiervoor een natriumwolframaat, het zg. blauwe wolfraambrons, dat bij een grootere dikte van het laagje nog een lage doorslagspanning heeft.

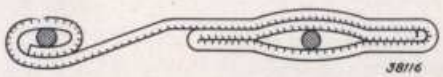



Fig. 6. Met aluminiumoxyde bedekt bandje, dat op zoodanige wijze om de pooldraden is gebogen, dat slechts één laagje behoeft door te slaan om een geleidende verbinding tusschen de electroden tot stand te brengen.

Bij vacuumlampen wordt de spanningsveiligheid tusschen de huls en het glas van de ballon gemonteerd. Zij kan niet in de ballon zelf worden aangebracht, omdat de gebruikte oxydelaagjes gassen bevatten, die het vacuum in de lamp zouden bederven. Bij lampen voorzien van een gasvulling speelt het uit het oxyde afkomstige gas geen rol. Het bandje met aluminiumoxyde kan om de pooldraden worden gebogen (*fig. 6*), eventueel in combinatie met een nikkelbandje, dat als boogvanger dient (*fig. 7*). Deze in fig. 7 afgebeelde

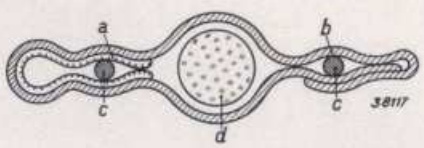



Fig. 7. Combinatie van een aluminium bandje (*a*), voorzien van een isoleerende laag aluminiumoxyde, met een nikkelbandje (*b*), dat als boogvanger dient. *c* electroden en *d* glazen staafje.

spanningsveiligheid ziet men in *fig. 8* aangebracht binnen in de ballon van een serielamp voor tramverlichting, die met gas is gevuld. De spanningsveiligheid van fig. 6 is in *fig. 9* te zien, aangebracht in de huls van een vacuum serielamp, die op ware grootte is geteekend.

Bij illuminatie- en kerstboomlampjes kan de spanningsveiligheid, niettegenstaande de geringe ter beschikking staande ruimte, tengevolge van de eenvoudige constructie toch in de kleine huls worden aangebracht, waarvan in *fig. 10* een voorbeeld is gegeven.

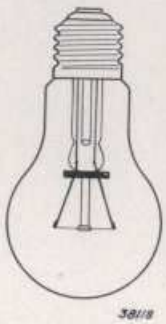



Fig. 8. Serielamp (met gasvulling) voor tramverlichting voor 40 V, 40 W (1 A), waarbij de in fig. 7 geschetste spanningsveiligheid in de ballon is aangebracht.

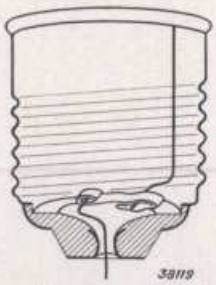



Fig. 9. Bij vacuum serielampen wordt de in fig. 6 afgebeelde spanningsveiligheid in de huls aangebracht. De afbeelding is op natuurlijke grootte en doet de geringe afmetingen van de spanningsveiligheid duidelijk uitkomen.

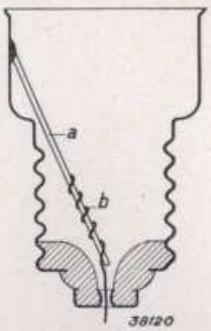



Fig. 10. Dwerghuls voor kleine illuminatielampjes op tweemaal de natuurlijke grootte, waarin een uiterst eenvoudige spanningsveiligheid is aangebracht. *a* wolfraamdraadje, bedekt met wolfraambrons, waaromheen een metaaldraadje *b* is gewikkeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



# NIET-LINEAIRE VERVORMING VAN GELUIDSFILM BIJ SCHEEF STAANDE LICHTSPLEET

door J. F. SCHOUTEN.

778.534.45 : 621.396.813

Wordt een geluidsfilm opgenomen of afgetast met een lichtspleet, die niet precies loodrecht staat op de lengterichting van de film, dan ontstaat een niet-lineaire vervorming van het geluid. Een exacte berekening van deze vervorming werd tot dusverre voor onmogelijk gehouden. In dit artikel wordt nu aangetoond, dat de berekening wel degelijk en zelfs op betrekkelijk eenvoudige wijze mogelijk is, wanneer men de lichtbuiging aan de geluidsfilm als hulpmiddel gebruikt. Het buigingsspectrum bestaat uit een tweedimensioneel patroon, welks lichtverdeeling op een bepaalde as (parallel aan de filmrichting) het Fourier-spectrum van het bij afspelen verkregen geluid levert. Bij een „scheef opgenomen" film blijkt het buigingspatroon eveneens scheef te worden getrokken, en met deze zeer simpele transformatie kan dadelijk het nieuwe Fourier-spectrum worden afgeleid, wanneer men maar het buigingspatroon van de „recht opgenomen" film volledig kent. Op deze wijze wordt de vervorming bij scheeve spleet berekend en nader besproken voor de gevallen, dat men slechts met één frequentie en dat men met twee verschillende frequenties in het geluidspoor te maken heeft.

## Het probleem van de scheeve spleet in de geluidsfilmtechniek

Staat bij het afspelen van geluidsfilm de smalle lichtspleet, waarmede de filmstrook wordt afgetast, niet loodrecht op de lengterichting van de film (*fig. 1a*), dan verloopt, in het geval van een sinusvormig geluidspoor op de film, de doorgelaten lichthoeveelheid niet meer zuiver sinusvormig met de tijd (fig. 1*c*). Er treedt zg. niet-lineaire vervorming op, die zich acoustisch daarin uit, dat het geluid, behalve de grondtoon, ook hoogere harmonischen daarvan bevat.

Een soortgelijk verschijnsel zal zich voordoen, wanneer bij het opnemen van de film de lichtspleet (bij het fotografische systeem) of de beitel (bij het Philips-Miller systeem, waarbij het geluidspoor in de film gesneden wordt [1]) niet loodrecht op de lengterichting van de film staat. Er ontstaat dan een geluidspoor, dat als het ware overhelt (fig. 1*b*) en dat bij het afspelen met een recht staande spleet op dezelfde wijze tot niet-lineaire vervorming aanleiding geeft.

Dat bij scheeve aftasting niet-lineaire vervorming moet ontstaan, werd reeds in 1881 aangestipt door König [2]) bij de behandeling van zijn „golvensirene", een voorlooper van de geluidsfilm. Eerst in de geluidsfilmtechniek werd dit probleem actueel. Frieser en Pistor [2]) constateerden, dat zij bij een poging tot een exacte berekening reeds bij één frequentie op niet verder oplosbare vergelijkingen stuitten en bepaalden zich er toe enkele gevallen grafisch uit te werken. Podliasky [2]) gaf, eveneens voor het geval van één frequentie, een benaderde berekening voor de relatieve sterkte van de tweede harmonische, die bij zeer kleine hoeken van de spleet optreedt. Het probleem van de algemeene berekening der vervorming gold echter tot dusver als niet exact oplosbaar.

Wij zullen nu laten zien, hoe met behulp van

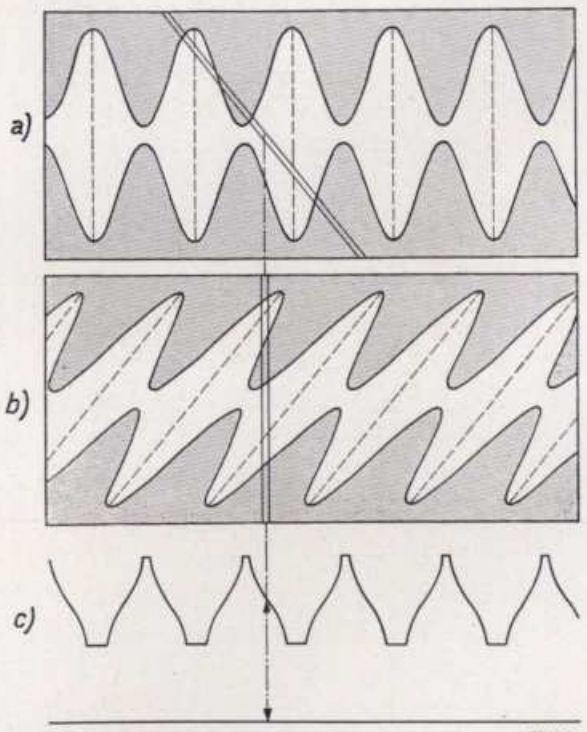



Fig. 1. Wordt een filmstrook afgetast met een lichtspleet, die scheef staat op de lengterichting van de film (*a*), of wordt het geluidspoor met een scheef staande spleet geregistreerd (*b*), dan ontstaat in beide gevallen een niet-lineaire vervorming van het geluid: de doorgelaten lichthoeveelheid verloopt bij een sinusvormig geluidspoor niet meer sinusvormig, maar volgens (*c*).

[1]) R. Vermeulen, Philips techn. T. **1**, 107, 1936. De in dit artikel gereproduceerde filmstrooken werden alle volgens dit systeem opgenomen. Eenvoudigheidshalve zullen wij hier echter steeds van een lichtspleet spreken.

[2]) R. König, Wied. Ann. Phys. **12**, 335, 1881.
H. Frieser en W. Pistor, Z. techn. Phys. **12**, 116, 1931.
I. Podliasky, Annales P.T.T. **24**, 1, 1935.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



de reeds vroeger beschreven lichtbuiging aan geluidsfilm [3]) op betrekkelijk eenvoudige wijze een exacte en bovendien zeer aanschouwelijke oplossing van dit probleem verkregen kan worden. Alvorens tot de feitelijke berekening over te gaan, zullen wij in een globale beschouwing het verband tusschen de lichtbuiging aan geluidsfilm en de niet-lineaire vervorming bij scheeve spleet aanduiden.

**Globale beschouwing over het buigingspatroon van scheef geregistreerde geluidsfilm**

Wij beschreven destijds [3]), hoe een strookje geluidsfilm gebruikt kan worden om optische interferentieverschijnselen teweeg te brengen. Men verkrijgt dan een buigingspatroon, dat ook acoustisch van belang is. Men kan namelijk de zeer algemeene stelling afleiden, *dat de lichtverdeeling op een bepaalde lijn in dit buigingspatroon* (namelijk de hieronder nader aan te duiden horizontale as door het middelpunt van het patroon) *de exacte Fourieranalyse van het op de film geregistreerde geluid levert* [4]).

Zoo zien wij in *fig. 2* een filmstrookje weergegeven, waarop een toon van 400 per/sec geregistreerd is, met het daarvan verkregen buigingspatroon. Op de horizontale as treffen wij slechts drie lijnen aan,

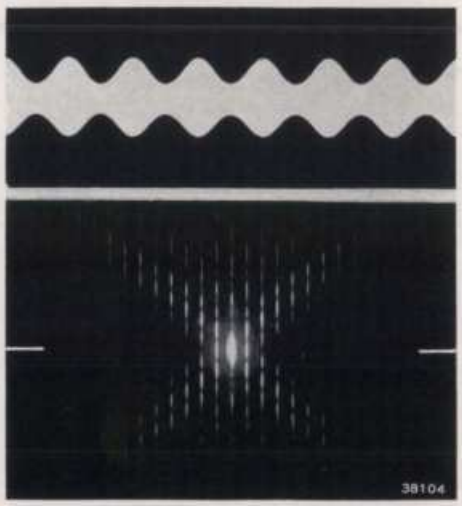



Fig. 2. Lichtbuiging aan geluidsfilm. Boven: geluidspoor (tienvoudig vergroot) van een toon van 400 per/sec, met rechte spleet geregistreerd. Beneden: het verkregen buigingspatroon. Op de horizontale as zijn uitsluitend de lijnen van nulde en eerste orde te zien.

een centrale lijn (nulde orde) en lijnen links en rechts daarvan (eerste orde), hetgeen beteekent, dat de filmstrook uitsluitend de frequenties nul — als zoodanig immers is de gemiddelde breedte van het filmspoor te beschouwen — en 400 bevat.

Het patroon buiten de as heeft hier geen acoustische beteekenis. Weliswaar bevat het patroon ook lijnen van hoogere orde (dwz. op grootere afstand van het midden), aangezien deze echter niet op de horizontale as voorkomen, bevat het op de filmstrook geregistreerde geluid de daarmee overeenkomende frequenties 800, 1200, enz. niet.

Wij beschouwen nu het buigingspatroon van een filmstrook, waarop dezelfde frequentie scheef geregistreerd is (*fig. 3*) en wel met een (zeer overdreven) hoek van 15 graden. Het patroon bevat wederom dezelfde lijnen van hoogere orde, iedere

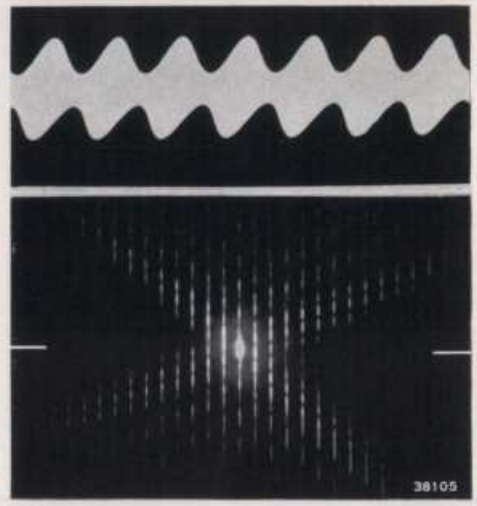



Fig. 3. Hetzelfde als fig. 2, echter voor registratie met scheeve spleet. Het buigingspatroon is, behoudens een verschuiving der lijnen in verticale richting, identiek met dat van fig. 2.

lijn met de oude intensiteitsverdeeling in verticale richting [5]), doch in deze richting verschoven over een afstand, evenredig met het nummer van de orde.

Dit brengt met zich mede, dat de tweede, derde en vierde orde met merkbare intensiteit op de horizontale as zijn geschoven en dus bij het afspelen als tweede, derde en vierde harmonischen in het geluid zullen voorkomen.

Het optische spectrum van een recht geregistreerde filmstrook levert ons dus reeds een volledig inzicht in het geluidspectrum, dat bij het scheef registreeren, resp. bij het scheef aftasten, verkregen zal worden. *De hoogere orden liggen als het ware klaar om, bij scheef registreeren, op de horizontale as te schuiven en aldus in het geluid als hoogere harmonischen merkbaar te worden.*

In principe vinden wij geheel hetzelfde gedrag bij meer ingewikkelde trillingsvormen (fig. 17 en 18). Ook hier blijft de algemeene structuur van het patroon onaangetast, de lijnen schuiven echter

[3]) J. F. Schouten, Philips techn. T. **3**, 303, 1938; **4**, 302, 1939.
[4]) J. F. Schouten, Physica **7**, 101, 1940.
[5]) Behoudens een gering verschil, dat te wijten is aan het iets breedere nulspoor en de iets grootere amplitude van het geluid op deze film.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



langs elkaar en kunnen daardoor een merkbare intensiteit op de horizontale as teweegbrengen.

De berekening van de niet-lineaire vervorming, welke door scheeve stand van de lichtspleet ontstaat, valt dus uiteen in twee stappen: de berekening van het normale buigingspatroon en de berekening van de verschuivingen, welke dit patroon door de scheeve stand van de lichtspleet ondergaat [6]).

Om de berekening van de buigingspatronen, welke met geluidsfilm verkregen worden, te vergemakkelijken, zullen wij daaraan de berekening voor eenige eenvoudige roosters: het gaatjesrooster en het spletenrooster, laten voorafgaan.

## Berekening van buigingspatronen

### *Het buigingspatroon van het gaatjesrooster*

Wij denken ons een evenwijdige lichtbundel, welke loodrecht op het vlak van de film invalt. Bevindt zich in de film een klein gaatje, dan wordt hierdoor, wanneer wij ons tot kleine hoeken van afbuiging beperken, het licht in alle richtingen gelijkmatig afgebogen.

Wij noemen de coördinaten van het rechthoekige gaatje $u$ en $v$, zijn breedte en hoogte resp. $du$ en $dv$ en de hoeken van afbuiging in horizontale en verticale richting resp. $\alpha$ en $\beta$. Wij beschouwen eerst de afbuiging der stralen in horizontale richting en teekenen hiertoe de projectie op het horizontale vlak door de $u$-as, zie *fig. 4*. Hierin is een straal door het punt $u$ weergegeven, welke over een horizontale hoek $\alpha$ wordt afgebogen, en een soortgelijke straal, die door het punt nul zou gaan.

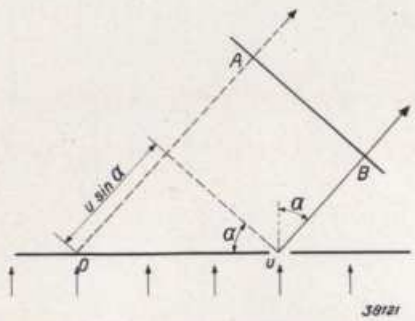



Fig. 4. Lichtbuiging aan een gaatje (projectie in het horizontale vlak).

Op een willekeurige lijn $AB$ loodrecht op de stralengang (het golffront) is er een wegverschil $u \sin \alpha$ tusschen de beide stralen, dus een faseverschil $(2\pi u \sin \alpha)/\lambda$, wanneer $\lambda$ de golflengte van het gebezigde (monochromatische) licht voorstelt. Stellen wij de lichttrilling in $A$ voor door $\sin \omega t$ ($\omega$ = cirkelfrequentie van het gebruikte licht), dan verloopt de lichttrilling in $B$ volgens $\sin (\omega t + 2\pi a u/\lambda)$, waarbij wij, omdat wij ons tot zeer kleine hoeken van afbuiging beperken, $\sin \alpha$ door $\alpha$ hebben vervangen. Gaan wij over tot het tweedimensioneele geval, waarbij de invloed van de verticale coördinaat $v$ en de verticale hoek van afbuiging $\beta$ mede in aanmerking wordt genomen, dan blijkt het, dat de straal $\alpha, \beta$ afkomstig van het gaatje $u, v$ met afmetingen $du$ en $dv$ op overeenkomstige wijze is voor te stellen door

$$\sin \left( \omega t + \frac{2\pi\alpha}{\lambda} u + \frac{2\pi\beta}{\lambda} v \right) du\, dv \quad . \quad . \quad (1)$$

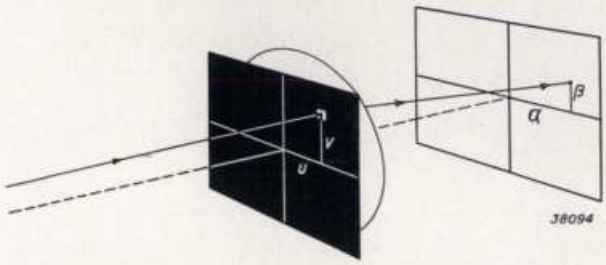



Fig. 5. Schematische opstelling voor het buigingsonderzoek. De filmstrook wordt met een evenwijdige lichtbundel verlicht. Achter de film is een lens geplaatst, die alle onder dezelfde hoeken $\alpha$, $\beta$ afgebogen stralen in één punt van het brandvlak vereenigt. In de film is hier één rechthoekig gaatje met de coördinaten $u,v$ ondersteld.

Wordt achter de film een positieve lens geplaatst (*fig. 5*), dan komt ieder punt van het brandvlak overeen met een richting $\alpha, \beta$ van afbuiging. De coördinaten in dit brandvlak zijn dus op een factor na gelijk aan $\alpha$ resp. $\beta$. Het brandvlak wordt volgens (1) homogeen verlicht, immers de amplitude van de lichttrilling is onafhankelijk van $\alpha$ en $\beta$; de fase echter bevat $\alpha$ en $\beta$ en is dus van punt tot punt verschillend.

Wij denken ons nu op de film een oneindig voortloopende horizontale rij gaatjes op gelijke afstanden $l$ met de coördinaten $u = x, x \pm l, x \pm 2l$ enz., zie *fig. 6a*. In het brandvlak wordt de bijdrage van het $m$-de gaatje tot de lichttrilling

$$\sin \left\{ \omega t + \frac{2\pi\alpha}{\lambda} (x + ml) + \frac{2\pi\beta}{\lambda} v \right\} dx\, dv \, . \quad . \quad (2)$$

De totale trilling wordt dan verkregen door sommatie over alle gaatjes. Physisch beteekent dit een interferentie tusschen stralen van dezelfde richting, afkomstig van verschillende gaatjes. Voor bepaalde richtingen, nl. voor die waarden van $\alpha$, waarvoor

$$\alpha_n = \frac{n\lambda}{l}, \text{ met } n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots, \quad (3)$$

[6]) Mathematisch gesproken heeft de berekening van de niet-lineaire vervorming met de lichtbuiging natuurlijk niets uit te staan. Men moet de methode alleen zien als een welkom hulpmiddel om de zeer abstracte wijze van berekenen (nl. met behulp van twee-dimensioneele Fourier-analyse) op aanschouwelijke wijze tot uitdrukking te brengen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



zal het faseverschil tusschen ieder paar stralen, onafhankelijk van $m$, een geheel veelvoud van $2\pi$ zijn, waardoor alle stralen elkaar versterken; voor alle tusschengelegen richtingen zullen de stralen elkaar uitdooven. Het brandvlak is dus niet meer homogeen verlicht, er blijft slechts licht op een reeks oneindig smalle equidistante verticale lijnen over (fig. 6*b*).

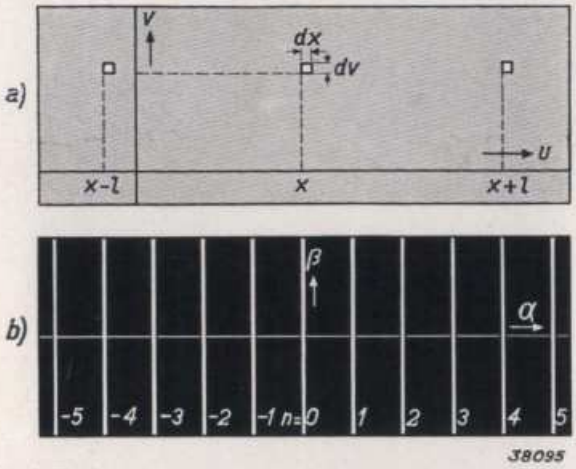



Fig. 6. Een gaatjesrooster (*a*), bestaande uit een oneindige rij gaatjes ter hoogte $v$ en met een onderlinge afstand $l$, veroorzaakt een buigingspatroon, dat een oneindig aantal equidistante verticale lijnen bevat (*b*), langs welke het licht een constante amplitude heeft.

Voor de amplitude van de lichttrilling in deze lijnen zouden wij bij sommatie over het oneindige aantal gaatjes oneindig vinden. Wij beschouwen echter in het vervolg de bijdrage per lengte-eenheid van de film [7]). In de $n$-de lijn is de bijdrage van ieder gaatje gelijk aan

$$\sin\left\{\omega t + \frac{2\pi\alpha_n}{\lambda}x + \frac{2\pi\beta}{\lambda}v\right\} dx\, dv,$$

per lengte-eenheid van de film dus

$$L_n = \frac{1}{l}\sin\left\{\omega t + \frac{2\pi\alpha_n}{\lambda}x + \frac{2\pi\beta}{\lambda}v\right\} dx\, dv \quad . \quad (4a)$$

of, wanneer wij (3) invullen en gemakshalve $2\pi\beta/\lambda = b$ stellen,

$$L_n = \frac{1}{l}\sin\left\{\omega t + \frac{2\pi n}{l}x + bv\right\} dx\, dv \quad . \quad . \quad (4b)$$

Willen wij ons nu, wat in het volgende het geval zal zijn, beperken tot het berekenen van buigingspatronen van periodieke roosters, dan kunnen wij ons deze altijd opgebouwd denken uit de som van een groot aantal, ten opzichte van elkaar in horizontale en verticale richting verschoven, gaatjesroosters van dezelfde periode. Ieder van deze gaatjesroosters geeft onafhankelijk van zijn ligging $x,v$ aanleiding tot hetzelfde equidistante lijnenstelsel (3), echter met een verschil in fase. Het uiteindelijke periodieke rooster, welke ingewikkelde vorm het in iedere periode ook moge hebben, zal dus uitsluitend intensiteiten op deze zelfde verticale lijnen kunnen vertoonen en zich uitsluitend door een verschillende intensiteitsverdeeling in verticale richting kunnen onderscheiden.

Als volgende stap zullen wij nu het buigingspatroon van het spletenrooster afleiden.

*Het buigingspatroon van het spletenrooster*

Een rooster, bestaande uit equidistante verticale spleten, die zich uitstrekken van $v = 0$ tot $v = y$ (*fig. 7a*), interpreteeren wij als de som van loodrecht boven elkaar geplaatste gaatjesroosters. Het verkregen buigingspatroon is de som van de patronen der afzonderlijke gaatjesroosters. Dit verkrijgen wij dus door integratie van (4b) over dv:

$$L_n = \frac{1}{l}\,dx\int_0^y \sin\left(\omega t + \frac{2\pi n}{l}x + bv\right) dv$$

$$= \frac{1}{bl}\left\{\cos\left(\omega t + \frac{2\pi n}{l}x\right) - \cos\left(\omega t + \frac{2\pi n}{l}x + by\right)\right\} dx \quad . \quad (5a)$$

$$= \frac{2}{bl}\sin\frac{by}{2}\cdot\sin\left(\omega t + \frac{2\pi n}{l}x + \frac{by}{2}\right) dx \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5b)$$

Voor iedere lijn $n$ wordt de amplitude der lichttrilling als functie van de verticale coördinaat $b$ dus gegeven door dezelfde functie

$$\frac{2}{bl}\cdot\sin\frac{by}{2}\,dx.$$

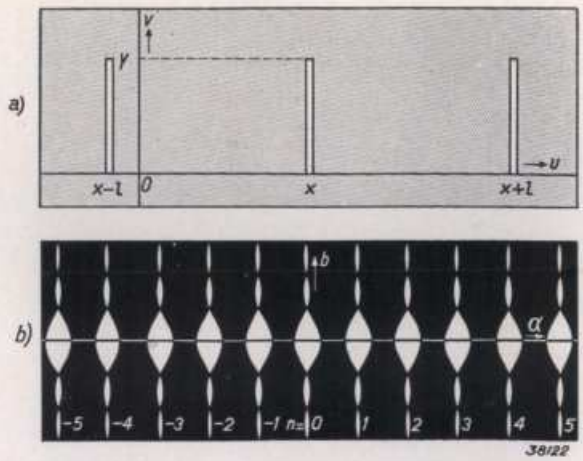



Fig. 7. Een spletenrooster (*a*) met een hoogte $y$ en de periode $l$ veroorzaakt een buigingspatroon (*b*), dat uit verticale lijnen op dezelfde plaatsen als in fig. 6*b* bestaat. Langs elke lijn echter varieert nu de amplitude van het licht periodiek. Dit is in de teekening door variatie van de lijnbreedte aangeduid.

[7]) In de practijk heeft men altijd met een eindige lengte van de filmstrook te maken. Dit uit zich (l.c. [3, 4]) uitsluitend in een geringe verbreeding van alle lijnen in het buigingspatroon, doch laat de macrostructuur van het patroon ongewijzigd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



De amplitude [8]), die bij het gaatjesrooster over een geheele lijn constant was, is nu langs elke lijn periodiek geworden, waarbij de sterkte der maxima evenredig met $b$ afneemt (fig. 7b).

*Het buigingspatroon van een sinusvormig spoor. Enkelzijdige modulatie*

Rijen wij nu in horizontale richting spletenroosters van verschillende hoogte $y$ (maar altijd met dezelfde periode $l$) aaneen, dan ontstaat daardoor wat men in de geluidsfilmtechniek een gemoduleerd spoor noemt. Voor een zuivere toon wordt

$$y = p + q \cos \frac{2\pi x}{l}, \quad \cdots \quad (6)$$

waar $p$ de breedte van het „nulspoor", $q$ de amplitude van het signaal voorstelt (*fig. 8*); $100\ q/p$ is de procentueele modulatiediepte. Wij hebben hiermede een zg. enkelzijdige modulatie verkregen, waarmede wordt uitgedrukt, dat slechts één begrenzing van het nulspoor wordt gevarieerd.

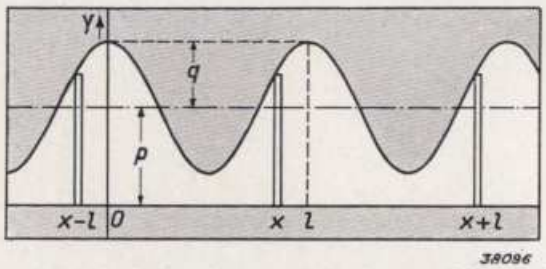



Fig. 8. Een geluidspoor, dat een enkelzijdig gemoduleerde sinus bevat, kan opgebouwd worden uit een reeks spletenroosters, allen met dezelfde periode $l$, doch in horizontale richting ten opzichte van elkaar verschoven. Het nulspoor heeft de breedte $p$, de amplitude van de sinustrilling is $q$.

Vullen wij de voorwaarde (6) in (5a) in en integreeren wij over d$x$, dan krijgen wij

$$L_n = \frac{1}{bl} \int_0^l \cos\left(\omega t + \frac{2\pi n}{l} x\right) dx - \frac{1}{bl} \int_0^l \cos\left\{\omega t + \frac{2\pi n}{l} x + b\left(p + q \cos \frac{2\pi x}{l}\right)\right\} dx.$$

De tweede integraal bevat bij uitwerking termen van de vorm $\cos\left(bq \cos \frac{2\pi x}{l}\right)$ en $\sin\left(bq \cos \frac{2\pi x}{l}\right)$, die niet zonder meer tot goniometrische functies zijn te herleiden, doch die kunnen worden uitgedrukt in een reeksontwikkeling naar Bessel-functies:

$$\cos(\xi \cos\Theta) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} (-1)^k \cos 2k\Theta \cdot J_{2k}(\xi),$$

$$\sin(\xi \cos\Theta) = \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} (-1)^k \cos(2k+1)\Theta \cdot J_{2k+1}(\xi).$$

[8]) Bij visueele of fotografische waarneming van het spectrum zal men steeds met de intensiteit van het licht te maken hebben, welke evenredig is met het kwadraat van de lichtamplitude. Voor onze beschouwingen is het echter voldoende steeds met de amplitude te werken.

Met behulp hiervan is de uitdrukking voor de lichttrilling in het buigingsspectrum te herleiden tot

$$L_n = -\frac{1}{b} \cos\left(\omega t + bp + \frac{n\pi}{2}\right) J_n(bq) \quad . \quad (7a)$$

voor $n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \ldots$, terwijl de nulde orde wordt gegeven door

$$L_0 = \frac{1}{b} \cos \omega t - \frac{1}{b} \cos(\omega t + bp)\, J_0(bq) \quad . \quad . \quad (8a)$$

In deze formules stelt $J_n$ de Bessel-functie van de $n$-de orde voor.

Voor een goed begrip van het karakter der buigingsspectra willen wij ons even in het gedrag van deze functies verdiepen. Zij kunnen als volgt in machtreeksen worden ontwikkeld:

$$J_0(\xi) = 1 - \frac{\xi^2}{2^2} + \frac{\xi^4}{2^2 \cdot 4^2} - \frac{\xi^6}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6^2} + \ldots = +J_0(-\xi),$$

$$J_1(\xi) = \frac{\xi}{2} - \frac{\xi^3}{2^2 \cdot 4} + \frac{\xi^5}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6} - \ldots = -J_1(-\xi) = -J_{-1}(\xi),$$

$$J_2(\xi) = \frac{\xi^2}{2 \cdot 4} - \frac{\xi^4}{2^2 \cdot 4 \cdot 6} + \frac{\xi^6}{2^2 \cdot 4^2 \cdot 6 \cdot 8} - \ldots = +J_2(-\xi) = +J_{-2}(\xi),$$

$$J_3(\xi) = \frac{\xi^3}{2 \cdot 4 \cdot 6} - \frac{\xi^5}{2^2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8} + \ldots = -J_3(-\xi) = -J_{-3}(\xi),$$

$$J_4(\xi) = \frac{\xi^4}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8} - \frac{\xi^6}{2^2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 10} + \ldots = +J_4(-\xi) = +J_{-4}(\xi),$$

enz.

$J_0(\xi)$ vertoont, zooals de reeksontwikkeling en *fig. 9* doen zien, groote gelijkenis met een cosinus, zij het van geleidelijk afnemende amplitude. $J_1(\xi)$ heeft het karakter van een sinus, terwijl de Bessel-functies van hoogere orden eveneens oscilleerende functies zijn, doch met voortschrijdende vertraging, wat de inzet betreft. Zij bereiken hun eerste maximum bij een waarde van het argument, die ongeveer één grooter is dan de orde $n$.

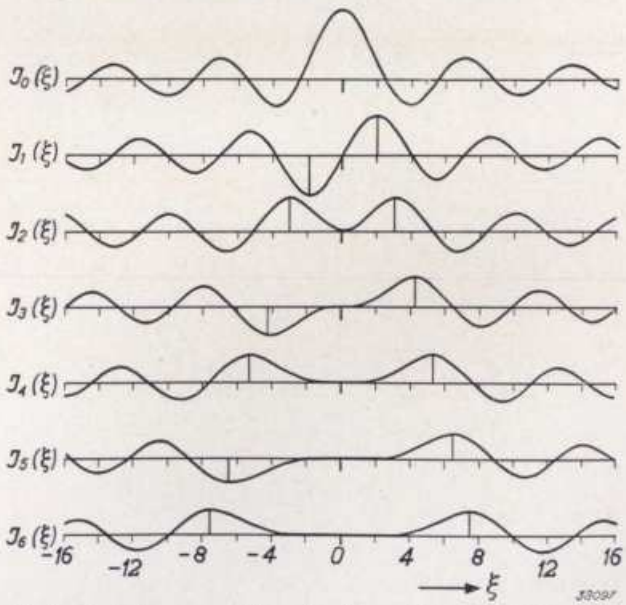



Fig. 9. Grafische voorstelling der Bessel-functies $J_n(\xi)$, voor de orden $n = 0$ tot $n = 6$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



Volgens (7a) en (8a) wordt in het buigingspatroon de intensiteitsverdeeling langs de lijn van $n$-de orde bepaald door de Bessel-functie van die orde. Nauwkeuriger gezegd: de amplitude van het licht wordt gegeven door de grootheid

$$\left|\frac{J_n(\xi)}{\xi}\right| .$$

Deze grootheid is in het model *fig. 10* aanschouwelijk voorgesteld voor een aantal positieve en negatieve

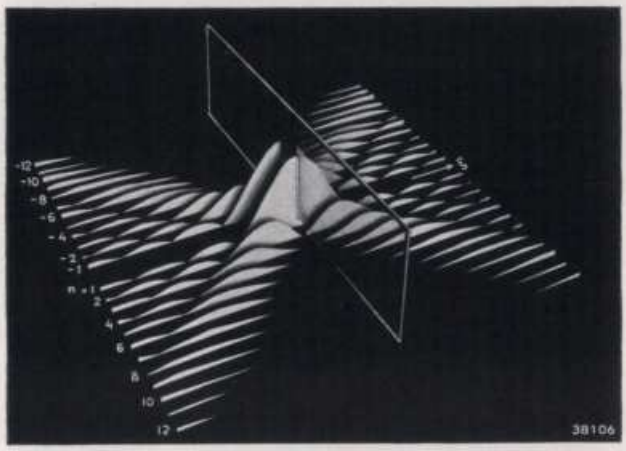



Fig. 10. Model van de functie $\left|\frac{J_n(\xi)}{\xi}\right|$ voor een aantal geheele orden $n$, behalve nul. Het verticale celluloid scherm stelt het vlak door de as $\xi = 0$ voor. In dit vlak is de functie alleen voor $n = \pm 1$ verschillend van nul.

geheele orden (behalve $n = 0$). Het gedrag der functies komt in wezen overeen met dat der Bessel-functies zelf (fig. 9), en dit gedrag vindt men dan ook geheel weerspiegeld in het opgenomen spectrum, *fig. 11*. Men ziet, hoe de hoogere orden

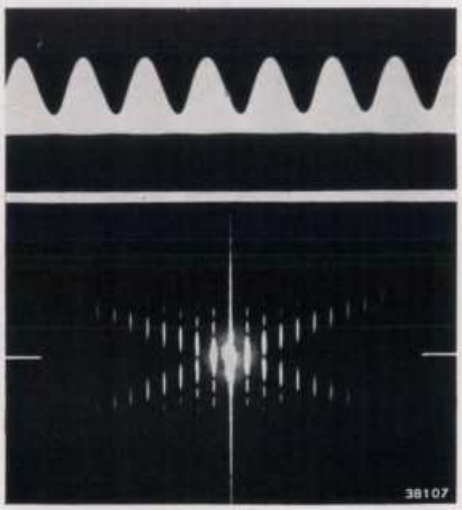



Fig. 11. Foto van het buigingspatroon van de enkelzijdig gemoduleerde sinus ($\nu = 400$ per/sec). De lichtverdeeling in dit patroon wordt gegeven door het in fig. 10 afgebeelde model. De horizontale as $b = 0$ komt daarbij overeen met het celluloid vlak $\xi = 0$.

hun eerste maximum bij steeds hoogere waarde van $b$ bereiken, waardoor het geheele patroon de vorm van een Andreas-kruis verkrijgt.

Voor de amplitude op de horizontale as ($b = 0$) volgt uit (7a) en (8a):

$$A_0 = p,$$
$$A_1 = q/2,$$
$$A_2 = A_3 = A_4 = \ldots = 0.$$

Dit bevestigt de aan het begin in onze globale beschouwing uitgesproken stelling, dat het buigingspatroon op de horizontale as de Fourier-analyse van het geluid levert: De nulde orde wordt uitsluitend bepaald door de breedte $p$ van het nulspoor, de eerste orde uitsluitend door de amplitude $q$ van het signaal, terwijl alle hoogere orden een sterkte nul hebben.

*Het buigingspatroon van een sinusvormig spoor. Dubbelzijdige modulatie*

Het is tegenwoordig in de geluidsfilmtechniek vrijwel algemeen gebruikelijk niet één, doch beide begrenzingen van het nulspoor gelijktijdig te varieeren. Wij willen het dan verkregen buigingspatroon afleiden uit dat van het enkelzijdig gemoduleerde spoor en denken ons daartoe het dubbelzijdig gemoduleerde spoor te bestaan uit twee gedeelten: het gedeelte boven en het gedeelte beneden de $x$-as, dus uit twee enkelzijdig gemoduleerde sporen. Het bovengedeelte levert het patroon, dat wij reeds afleidden, het ondergedeelte verkrijgen wij door bij de berekening van (5) niet te integreeren van 0 tot $y$, doch van $-y$ tot 0. Dit komt daarop neer, dat wij in de formules (7a) en (8a) $p$ en $q$ vervangen door $-p$ en $-q$ en het geheel van het negatieve teeken voorzien. Dit levert:

$$L_n' = +\frac{1}{b}\cos\left(\omega t - bp + \frac{n\pi}{2}\right) J_n(-bq), \quad . \quad . \quad (7b)$$

$$L_0' = -\frac{1}{b}\cos\omega t + \frac{1}{b}\cos(\omega t - bp)\, J_0(-bq). \quad (8b)$$

Tellen wij nu de beide patronen op, dan verkrijgen wij voor alle orden de lichttrilling

$$L_n = \frac{2}{b}\sin\left(bp + \frac{n\pi}{2}\right) J_n(bq)\sin\omega t \quad . \quad . \quad (9)$$

Het kenmerkende verschil tusschen het thans verkregen en het oorspronkelijke buigingspatroon bestaat daarin, dat de breedte $p$ van het nulspoor, die bij enkelzijdige modulatie (zie 7a) uitsluitend in de fase van de lichttrilling voorkomt (behalve bij de nulde orde, waar we ons niet verder mee bezig houden), nu in de amplitude is terecht gekomen en daardoor in de intensiteitsverdeeling tot uiting komt. Zij bewerkstelligt daardoor, naar fig. 2 ook doet zien, in iedere lijn een reeks

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



equidistante nulpunten en maxima, die elkaar voor aangrenzende orden afwisselen, daar zij blijkens (9) voor even orden door $\sin bp$, voor oneven orden door $\cos bp$ bepaald worden.

Wij moeten deze extra nulpunten en maxima dus zien als het gevolg van de interferentie van de twee buigingsspectra, die door het boven- resp. het benedengedeelte van het spoor ontworpen worden.

Dit verschijnsel veroorlooft ons de grootheden $p$ en $q$ afzonderlijk uit het spectrum te bepalen, aangezien zij onafhankelijk van elkaar tot uiting komen. Verandert men de breedte van het nulspoor bij gelijkblijvende $q$, dan verandert de afstand der $p$-nulpunten, terwijl het Andreas-kruis zijn vorm behoudt. Verandert men de modulatiediepte bij gelijkblijvende breedte van het nulspoor, dan verandert de helling van de beenen van het Andreas-kruis, terwijl de $p$-nulpunten hun afstand behouden.

Op de horizontale as mogen wij krachtens de hierboven genoemde stelling weer alleen de nulde en eerste orde verwachten. Wij vinden

$$A_0 = 2p,$$
$$A_1 = q,$$
$$A_2 = A_3 = A_4 = \ldots = 0.$$

**Het buigingspatroon van scheef geregistreerde film**

Hoezeer ook het geluidspoor vervormd moge worden door het scheef registreeren, het blijft periodiek met dezelfde periode $l$. Zooals wij bij de behandeling van het gaatjesrooster uiteenzetten, zal dus het buigingspatroon uitsluitend uit verticale lijnen op de oude plaatsen $a_n$ bestaan. Er ontstaan geen nieuwe lijnen, alleen zal de intensiteitsverdeeling in verticale richting van iedere lijn een verandering ondergaan.

Scheef registreeren komt in onze wijze van opbouw van het geluidspoor daarop neer, dat wij moeten uitgaan van een spletenrooster, waarvan de spleten een zekere hoek $\psi$ met de verticale as maken [9]).

Wij trachten nu het buigingspatroon van dit spletenrooster uit dat van het gaatjesrooster af te leiden. Het gaatjesrooster op hoogte $v$ moet nu ook van een andere $u$-coördinaat voorzien worden, namelijk door vervanging van $x$ door $x + v \operatorname{tg} \psi$ (zie *fig. 12*). De lichttrilling (4a) wordt dus, wanneer wij de coördinaten van het nieuwe buigingsspectrum met $\alpha'$ en $\beta'$ aanduiden,

$$\frac{1}{l} \sin \left\{ \omega t + \frac{2\pi\alpha'}{\lambda} x + \left( \frac{2\pi\alpha'}{\lambda} \operatorname{tg} \psi + \frac{2\pi\beta'}{\lambda} \right) v \right\} dx\, dv$$

ofwel

$$\frac{1}{l} \sin \left\{ \omega t + \frac{2\pi\alpha}{\lambda} x + \frac{2\pi\beta}{\lambda} v \right\} dx\, dv, \quad . \quad . \quad (4c)$$

[9]) De scheef geregistreerde film kunnen wij ontstaan denken uit de recht geregistreerde film door een scheefhoekige transformatie, waarbij de horizontale lijnen horizontaal gebleven en de verticale lijnen over een hoek $\psi$ gedraaid zijn.

waarin

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \alpha', \\ \beta &= \beta' + \alpha' \operatorname{tg} \psi. \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Hiermede is de oplossing van ons probleem reeds geheel gegeven. Vergelijking (4c) is namelijk volkomen identiek met vergelijking (4a), zoodat wij

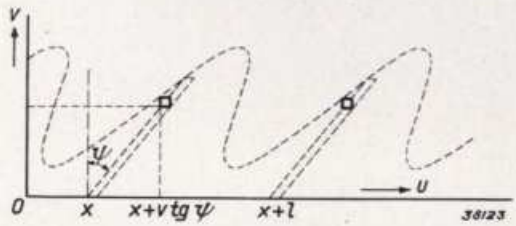



Fig. 12. Een scheef geregistreerd geluidspoor kan worden opgebouwd uit roosters van scheef staande spleten (hoek $\psi$). Het buigingspatroon van een dergelijk spletenrooster kan op dezelfde wijze als hierboven worden afgeleid door integreeren over gaatjesroosters. De boven elkaar gelegen gaatjesroosters moeten dan ten opzichte van elkaar worden verschoven volgens de voorwaarde $u = x + v \operatorname{tg} \psi$.

daarmede bij overgang tot de spleet, de sinus enz. volkomen dezelfde buigingspatronen als voor de recht geregistreerde films afleiden. Alleen moeten dan de coördinaten $\alpha$ en $\beta$ via vergelijking (10) worden vervangen door $\alpha'$ en $\beta'$, hetgeen neerkomt op een scheefhoekige transformatie van het normale buigingsspectrum, waarbij de verticale lijnen verticaal blijven en de horizontale lijnen over een hoek $\psi$ gedraaid worden (*fig. 13*). Hiermede hebben wij dus het reeds in onze globale beschouwing beschreven gedrag van het buigingspatroon van scheef geregistreerde film afgeleid.

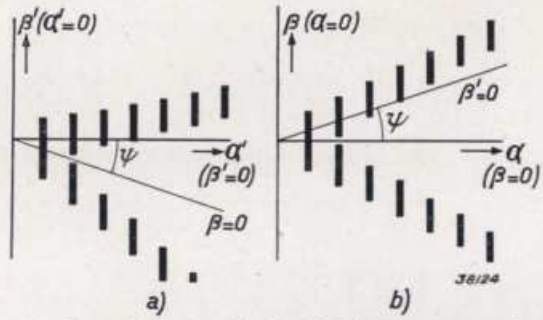



Fig. 13. Transformatie, die het buigingspatroon ondergaat, wanneer het geluidspoor scheef is geregistreerd. Alle verticale lijnen in het patroon blijven verticaal, alle horizontale lijnen worden over de hoek $\psi$ gedraaid (*a*). Voor het vinden van het nieuwe acoustische spectrum kan men derhalve het oude buigingspatroon (bij rechte spleet) gebruiken, mits men de „horizontale as" een hoek $\psi$ draait (*b*).

Wij lichten dit tenslotte nog toe aan het model van de functie $|J_n(\xi)/\xi|$, dat wij in fig. 10 weergaven. De verschillende functies, welke in papier zijn uitgesneden, zijn gemonteerd in afzonderlijke houten strippen. Het spectrum van de scheef geregistreerde film wordt nu verkregen (*fig. 14*) door de strippen langs elkaar te verschuiven. Men ziet duidelijk, hoe de tweede en derde orde nu over de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



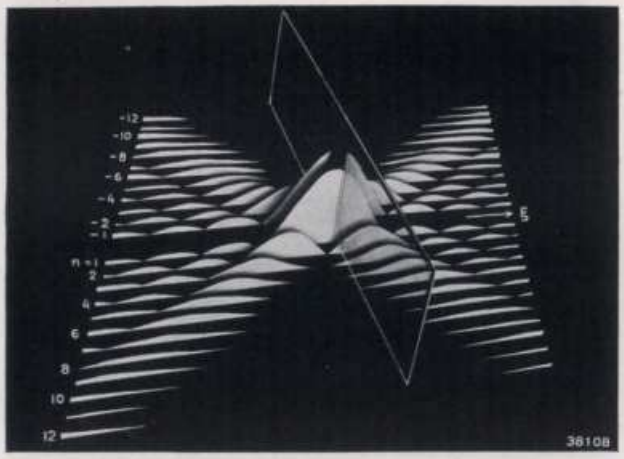



Fig. 14. Het in fig. 10 weergegeven model is zoodanig uitgevoerd, dat de papierstrooken, welke de lichtverdeeling op de lijnen van het buigingspatroon voorstellen, langs elkaar kunnen worden verschoven. Op deze wijze kan de in fig. 13 geteekende transformatie worden gedemonstreerd.

horizontale as (het celluloid vlak) schuiven en dus in het Fourierspectrum van de bij afspelen verkregen klank optreden.

Het buigingspatroon van de normale zuivere sinus, dat ons tot dusver buiten de horizontale as acoustisch niet interesseerde, krijgt nu ten volle beteekenis, daar het te beschouwen is als een volledig model van de Fourier-spectra, welke verkregen zullen worden bij een willekeurige hoek van registreeren of afspelen. De nieuwe „horizontale as" $\beta' = 0$ vinden wij in het normale buigingspatroon krachtens (10) als een rechte lijn door de oorsprong

$$\beta = \alpha \operatorname{tg} \psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

De waarden van de amplitude van het licht der verschillende orden op deze lijn geven ons de coëfficienten van de verschillende hoogere harmonischen.

Wij zullen deze berekening nu voor eenige practisch belangrijke gevallen numeriek uitvoeren.

**Het Fourier-spectrum bij scheef registreeren of afspelen**

*Enkelzijdige modulatie*

De amplitude van de lichttrilling bij buiging aan een enkelzijdig gemoduleerd sinusspoor is blijkens (7a) evenredig met

$$A_n = \frac{1}{b} J_n(bq) \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \quad (12)$$

Schrijven wij in (11) weer $2\pi\beta/\lambda = b$ en $\alpha = n\lambda/l$ en drukken wij de periode $l$ uit in de frequentie $\nu$ en de filmsnelheid $c$ ($c = \nu l$), dan wordt (11):

$$b = \frac{2\pi n \nu}{c} \operatorname{tg} \psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Voor kleine hoeken $\psi$, dus voor kleine $bq$, mogen wij bij de reeksontwikkeling der Bessel-functies met de eerste term volstaan en tg $\psi$ door $\psi$ vervangen. Wij vinden dan

$$A_n = \frac{b^{n-1} q^n}{2^n \cdot n!} = \frac{q}{2 \cdot n!} \left( \frac{\pi n q \nu \psi}{c} \right)^{n-1},$$

dus voor de afzonderlijke amplituden $A_n$ resp. voor de relatieve amplituden $B_n$, betrokken op de grondfrequentie:

$$A_1 = \frac{q}{2}, \qquad B_1 = \frac{A_1}{A_1} = 1,$$

$$A_2 = \frac{\pi q^2}{2c} \nu\psi, \qquad B_2 = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\pi q}{c} \nu\psi,$$

$$A_3 = \frac{3}{4} \frac{\pi^2 q^3}{c^2} \nu^2\psi^2, \qquad B_3 = \frac{A_3}{A_1} = \frac{3}{2} \frac{\pi^2 q^2}{c^2} \nu^2\psi^2 = 1{,}5 \; B_2^2,$$

$$A_4 = \frac{4}{3} \frac{\pi^3 q^4}{c^3} \nu^3\psi^3, \qquad B_4 = \frac{A_4}{A_1} = \frac{8}{3} \frac{\pi^3 q^3}{c^3} \nu^3\psi^3 = 2{,}33 \; B_2^3.$$

Wij zien dus, dat de amplitude $A_1$ van de grondfrequentie in eerste benadering onafhankelijk is van de frequentie $\nu$ en de hoek $\psi$. De relatieve sterkte $B_2$ van de tweede harmonische is recht evenredig met de geluidsamplitude $q$ en met $\nu$ en $\psi$, de derde harmonische met het kwadraat van deze grootheden, enz. Wij hebben dus te maken met een sterk met de frequentie toenemende niet-lineaire vervorming. Deze vervorming is onafhankelijk van de breedte $p$ van het nulspoor. Voor kleine hoeken zijn de hoogere harmonischen verwaarloosbaar klein ten opzichte van de tweede harmonische, zoodat we ons alleen met deze laatste behoeven bezig te houden.

Nemen wij een filmsnelheid $c$ van 320 mm/sec, een amplitude $q$ van 1,0 mm en drukken wij de frequentie $\nu$ in kiloper/sec en de hoek $\psi$ in minuten uit, dan wordt

$$B_2 = 0{,}29 \, \nu\psi \; \% \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \, . \quad (14)$$

De grondfrequentie is wel in de tot nu toe gebruikte eerste benadering onafhankelijk van $\psi$, doch zal in tweede benadering, zooals het model (fig. 14) ook doet zien, dalen. Ook hier is de grootheid $q\nu\psi$ de bepalende factor. In de geluidsfilmpractijk controleert men daarom de juiste stand van de lichtspleet door de frequentie 8000 per/sec op te nemen en bij het afspelen de lichtspleet zoo in te stellen, dat een maximale geluidssterkte verkregen wordt. Hoe nauwkeurig deze instelling met name bij enkelzijdige modulatie moet zijn, moge uit het volgende voorbeeld blijken. Wij eischen bijvoorbeeld, dat de tweede harmonische bij 4000 per/sec niet sterker is dan 3%. Dit beteekent volgens (14) een hoek $\psi$ van $2^1/_2$ minuut. Uit *fig. 15*, kromme *a*, volgt dan, dat bij het justeeren met de frequentie 8000 de amplitude der grondfrequentie niet meer dan 0,15% van de maximale waarde mag afwijken.

*Dubbelzijdige modulatie*

De amplitude van de lichttrilling bij buiging aan een dubbelzijdig gemoduleerd sinusspoor is blijkens (9)

$$A_n = \frac{2}{b} \sin \left( bp + \frac{n\pi}{2} \right) J_n(bq).$$

Voor oneven orden is deze amplitude gelijk aan de zooeven

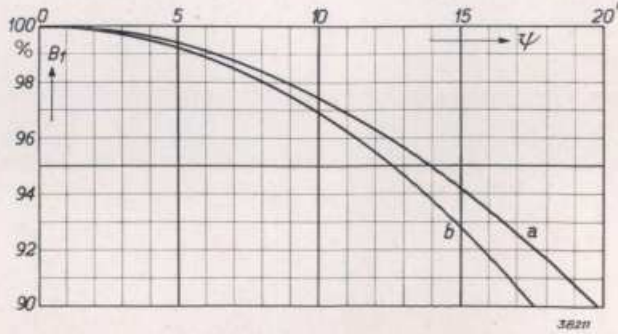



Fig. 15. Amplitude van de grondtoon van het geluid, dat verkregen wordt bij scheef aftasten van een sinusvormig geluidspoor als functie van de hoek $\psi$ van de lichtspleet. De kromme *a* geldt voor enkelzijdige, *b* voor dubbelzijdige modulatie (frequentie $\nu = 8000$ per/sec, modulatiediepte 100%, nulspoorbreedte 1,0 mm, filmsnelheid 320 mm/sec).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



behandelde, omdat voor kleine hoeken cos $bp$ gelijk aan 1 gesteld mag worden. Voor even orden treedt echter een vermenigvuldigingsfactor sin $bp$ op, zoodat nu de nulspoorbreedte $p$ een rol gaat spelen. Voor kleine hoeken $\psi$ vinden we

$$A_1 = q, \qquad B_1 = \frac{A_1}{A_1} = 1,$$

$$A_2 = 4\,\frac{\pi^2 pq^2}{c^2}\,\nu^2\psi^2, \qquad B_2 = \frac{A_2}{A_1} = 4\,\frac{\pi^2 pq}{c^2}\,\nu^2\psi^2,$$

$$A_3 = \frac{3}{2}\,\frac{\pi^2 q^3}{c^2}\,\nu^2\psi^2, \qquad B_3 = \frac{A_3}{A_1} = \frac{3}{2}\,\frac{\pi^2 q^2}{c^2}\,\nu^2\psi^2 = 0{,}375\,\frac{q}{p}B_2,$$

$$A_4 = \frac{64}{3}\,\frac{\pi^4 pq^4}{c^4}\,\nu^4\psi^4, \qquad B_4 = \frac{A_4}{A_1} = \frac{64}{3}\,\frac{\pi^4 pq^3}{c^4}\,\nu^4\psi^4 = 1{,}33\,\frac{q}{p}B_2^2.$$

De tweede harmonische is nu evenredig geworden met het kwadraat van de frequentie $\nu$ en de hoek $\psi$ en is daardoor gedaald tot ongeveer hetzelfde niveau als de derde harmonische. Dubbelzijdige modulatie is dus, wat deze vervorming betreft, aanmerkelijk gunstiger dan enkelzijdige modulatie [10]). Men kan het zoo voorstellen, dat het boven- en benedengedeelte van het spoor als het ware in balans geschakeld zijn, waardoor de even harmonischen in eerste benadering onderdrukt worden.

Onderstellen wij een totale nulspoorbreedte $2p = 1{,}0$ mm en een modulatiediepte van 100%, dan wordt

$$B_2 = 0{,}0009\,\nu^2\psi^2\ \% \qquad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Eischen wij nu als maximale vervorming bij 4000 per/sec weer 3%, dan wordt de maximaal toelaatbare hoek $\psi = 15$ minuten, waaraan blijkens fig. 15, kromme $b$, voldaan kan worden door de amplitude van de vol gemoduleerde toon 8000 binnen 7% van het maximum in te stellen.

In *fig. 16* is het percentage tweede harmonische als functie van de hoek $\psi$ en de frequentie $\nu$ voor enkelzijdige en dubbelzijdige modulatie weergegeven.

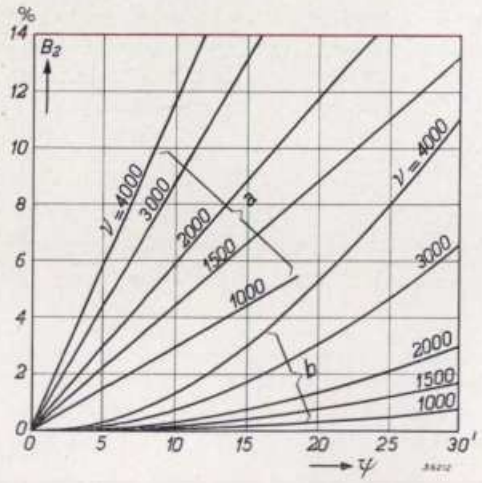



Fig. 16. Percentage $B_2$ van de tweede harmonische als functie van de hoek $\psi$ van de lichtspleet, voor verschillende frequenties $\nu$. De krommenschaar $a$ geldt voor enkelzijdige, de schaar $b$ voor dubbelzijdige modulatie (modulatiediepte 100%, nulspoorbreedte 1,0 mm, filmsnelheid 320 mm/sec). Men ziet, dat in het laatste geval de weergave veel minder gevoelig is voor kleine afwijkingen ten opzichte van de loodrechte stand ($\psi = 0$) van de lichtspleet.

## Het buigingspatroon van twee frequenties

Zijn twee frequenties $\nu$ en $\mu$ met een respectievelijke amplitude $q$ en $r$ op de film geregistreerd, dan geldt voor $y$:

$$y = p + q\cos\frac{2\pi\nu}{c}x + r\cos\frac{2\pi\mu}{c}x,$$

waarin $c$ de filmsnelheid bij opnemen en afspelen voorstelt. Ook dit kan men ten allen tijde als een periodiek verschijnsel interpreteeren, en wel met een periode, welke gelijk is aan het kleinste gemeene veelvoud van de perioden $c/\nu$ en $c/\mu$. De berekeningen, waarop wij hier niet nader in zullen gaan [4]), kunnen dan geheel analoog aan het geval van een enkele frequentie geschieden. Het blijkt, dat alleen lijnen kunnen optreden voor hoeken $\alpha$, die voldoen aan

$$\frac{c\,\alpha_{n,m}}{\lambda} = n\nu + m\mu, \qquad \ldots\ldots \quad (16)$$

waarin $n$ en $m$ geheele positieve of negatieve getallen zijn. Behalve de hoogere orden $n\nu$ en $m\mu$ treden dus ook alle intercombinatielijnen op.

De lichttrilling is bij tweezijdige modulatie

$$L_{nm} = \frac{2}{b}\sin\left(bp + \frac{n+m}{2}\pi\right) J_n(bq)\, J_m(br)\sin\omega t \quad \ldots \quad (17)$$

Deze wordt nu dus bepaald door producten van Bessel-functies.

Wij geven in *fig. 17a* en *18a* twee typeerende gevallen weer. Fig. 17*a* vertoont het buigingspatroon van een geluidspoor met twee slechts weinig van elkaar verschillende frequenties ($\nu = 1600$, $\mu = 1880$ per/sec), fig. 18*a* het buigingspatroon voor twee ver uiteenliggende frequenties ($\nu = 1600$, $\mu = 210$ per/sec). Fig. 17*b* en 18*b* laten de buigingspatronen zien voor dezelfde combinaties van frequenties, doch nu voor scheef geregistreerde film. Zooals te verwachten is, zijn de patronen, behoudens de scheefhoekige transformatie, onveranderd gebleven. Aangezien het normale patroon buiten de horizontale as ook alle intercombinatielijnen bevat, zullen deze bij het afspelen met scheeve spleet als combinatietonen in het geluid voorkomen en wel des te eerder, naarmate de betreffende lijnen een hoogere orde hebben (hoogere frequentie) en hun eerste maximum dichter bij de horizontale as bereiken.

De berekening van deze niet-lineaire vervorming geschiedt geheel analoog aan die, welke bij één frequentie optreedt. Wij willen als voorbeeld één geval behandelen, namelijk de sterkte van een lage verschilfrequentie van twee hooge moederfrequenties. De beide hooge moederfrequenties zullen sterk vervormd worden. Hoe groot wordt nu echter de amplitude van de verschilfrequentie? Is deze van dezelfde orde als de beide tweede harmonischen of veel geringer? De amplitude van de lichttrilling

[10]) M. C. Batsel en E. W. Kellogg, J. Soc. Mot. Pict. Eng. **28**, 516, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



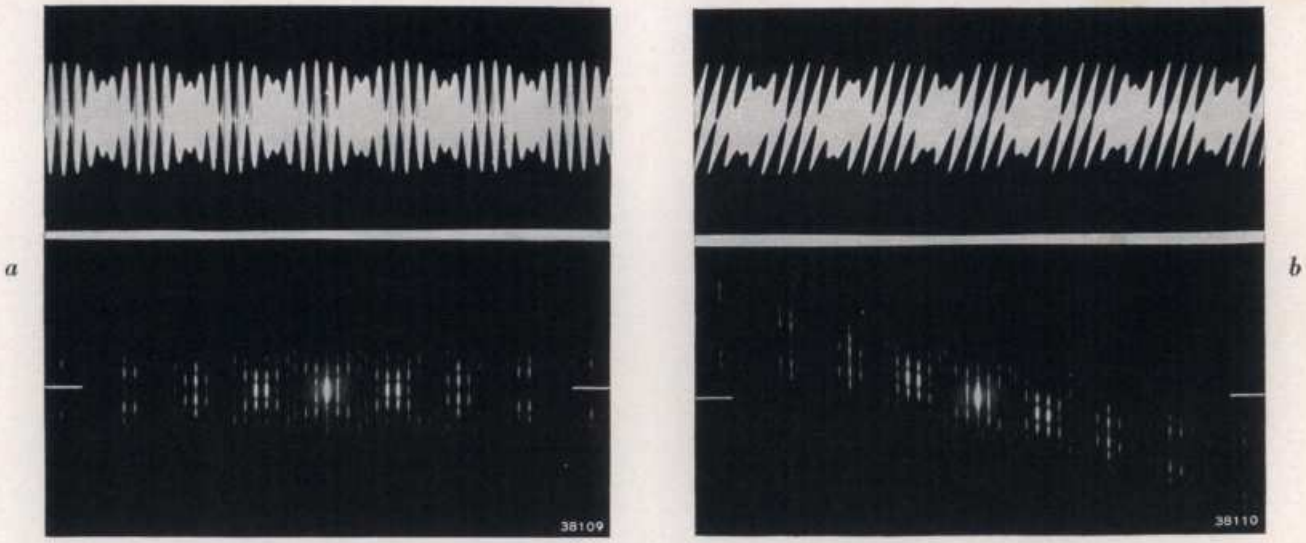



Fig. 17. Geluidspoor met twee weinig verschillende frequenties ($\nu = 1600$, $\mu = 1880$ per/sec) en bijbehoorend buigingspatroon, *a*) voor registratie met rechte spleet, *b*) voor registratie met scheeve spleet ($\psi = 15°$). In (*a*) zouden op de horizontale as alleen de frequenties 0, 1600 en 1880 zichtbaar mogen zijn. De verschiltoon 280 is daar echter eveneens duidelijk te zien, hetgeen aantoont, dat in het geregistreerde geluid reeds een niet-lineaire vervorming aanwezig was.

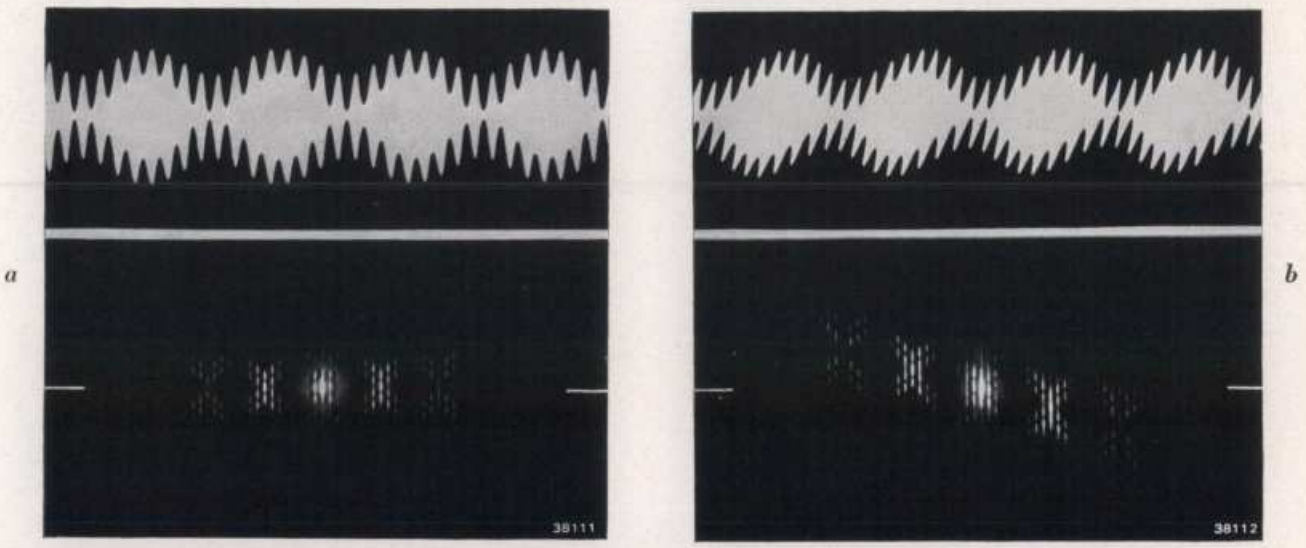



Fig. 18. Hetzelfde als fig. 17, echter voor twee ver uit elkaar liggende frequenties ($\nu = 1600$, $\mu = 210$ per/sec). Wederom is *a*) met rechte spleet, *b*) met scheeve spleet opgenomen. Ook hier was het geregistreerde geluid op zichzelf reeds vervormd, zooals blijkt uit het feit, dat in (*a*) op de horizontale as ook de som- en verschilfrequentie 1810 en 1390 en de tweede harmonische 3200 te zien zijn.

in het buigingsspectrum is volgens (17)

$$A_{nm} = \frac{2}{b} \sin\left(bp + \frac{n+m}{2}\pi\right) J_n(bq)\, J_m(br).$$

De verschiltoon krijgen wij door $n = -1$ en $m = +1$ te stellen, hetgeen in eerste benadering levert:

$$A_{-1,+1} = -\frac{2}{b}\, bp\, \frac{bq}{2} \cdot \frac{br}{2} = -\frac{b^2 pqr}{2}.$$

Nu is de waarde van $b$, die bij het snijpunt met de „horizontale as" behoort, volgens verg. (11) steeds evenredig met $a$, dat is dus volgens (16) evenredig met de gevormde verschilfrequentie $\mu - \nu$. De amplitude van de verschiltoon is derhalve evenredig met $(\mu - \nu)^2$.

Wij treffen hier dus een zeer merkwaardig soort frequentie-afhankelijke niet-lineaire vervorming aan, waarbij de sterkte der gevormde combinatiefrequenties onafhankelijk is van de hoogte der moederfrequenties en uitsluitend bepaald wordt door de hoogte der gevormde frequenties. Is de verschilfrequentie laag, dan treedt zij slechts zwak op, ook al worden de beide moederfrequenties ieder sterk vervormd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



# EEN TELEFONIE-INSTALLATIE OP ULTRA KORTE GOLF VOOR DE TROPEN

door C. G. A. von LINDERN. 621.396.5.029.6

Voor telefonie-verbindingen in tropische en subtropische streken heeft Philips een zend-ontvang-installatie ontwikkeld, die op een golflengte van omstreeks 4 m werkt. Door toepassing van richtantennes kan hiermee reeds met een zendvermogen van 40 W een afstand van 50 à 100 km worden overbrugd, mits men de zend- en ontvanginstallaties op voldoende hoog gelegen punten, bijv. bergtoppen, opstelt. Met het oog op deze wijze van toepassing is de installatie ingericht voor bediening op afstand, terwijl tevens alle voorzorgen zijn genomen om de zender te beschermen tegen de gevaren, die een opstelling in de open lucht in een tropisch klimaat meebrengt. Na een korte beschrijving van de samenstelling van de zender wordt in dit artikel uitvoerig ingegaan op de genoemde voorzorgsmaatregelen, die in allerlei constructieve bijzonderheden zijn belichaamd. Tenslotte wordt de afstandsbediening van de installatie besproken.

Voor het telefonisch overbruggen van oceanen of van uitgestrekte gebieden met dunne bevolking is het meestal eenvoudiger een radioverbinding tot stand te brengen dan een kabelverbinding; bij zéér groote afstanden is de radioverbinding zelfs de eenige mogelijkheid. Maar ook wanneer het om kleine afstanden gaat, bijv. slechts 50 of 100 km, kan onder bepaalde omstandigheden een radioverbinding de voorkeur verdienen boven een kabelverbinding. Dergelijke omstandigheden doen zich vooral voor in tropische en subtropische gebieden: oerwouden, moerassen en woestijnen bemoeilijken hier ten zeerste het spannen van draden of het leggen van kabels, terwijl bovendien de kabelverbinding door de klimatologische omstandigheden altijd zeer kwetsbaar blijft en moeilijk toegankelijk is voor eventueel noodige herstelwerkzaamheden.

Voor deze gevallen is een radioverbinding op ultra korte golven beneden 5 m de aangewezen methode. We zullen een hiervoor uitgewerkte installatie beschrijven, waarbij speciaal rekening is gehouden met de eischen, die in een tropisch klimaat aan de constructie worden gesteld.

## De algemeene opzet

De genoemde ultra korte golven hebben bij de practisch in aanmerking komende vermogens slechts een beperkte werkingssfeer: globaal strekt zich de uitbreiding niet veel verder uit dan het optische zicht. Dit is echter voor de hier bedoelde gevallen geen bezwaar, daar het slechts om betrekkelijk korte afstanden gaat, die bij voldoend hooge opstelling van de zend- en ontvangantennes nog binnen het zicht vallen. Anderzijds biedt de toepassing der golven beneden 5 m hier speciale voordeelen. Ten eerste kunnen in dit golflengtegebied nog talrijke zenders plaats vinden zonder dat hun frequentiegebieden elkander storen — een voordeel, dat nog vergroot wordt door de zoojuist vermelde beperktheid van de werkingssfeer, daar men hierdoor in eenzelfde streek een bepaalde golflengte meermalen kan gebruiken. Van de groote vrijheid in het frequentiegebied kan ook gebruik worden gemaakt om de zender en ontvanger een dusdanige bandbreedte te geven, dat een aantal gesprekken gelijktijdig in verschillende kanalen van de zijbanden kan worden overgebracht (draaggolftelefonie). Ten tweede hebben de korte golven ook wat de zendenergie betreft voordeelen boven de langere. Weliswaar is het bij korte golflengten moeilijker om groote zendvermogens op te wekken, daar tegenover staat echter de mogelijkheid om de uitgezonden straling te bundelen. Bij een golflengte van 4 m kan men met een richtantenne van redelijke afmetingen een tienvoudige versterking van de in een bepaalde richting uitgestraalde energie verkrijgen (natuurlijk ten koste van de energie, die in andere richtingen wordt uitgestraald). Voor het onderhavige geval, waarbij de radioverbindingen deel uitmaken van een telefoonnet en waar derhalve soms ook verschillende dergelijke radioverbindingen in serie moeten worden geschakeld, zal men ter plaatse van de ontvanger een signaalsterkte moeten eischen, die minstens 50 db boven het normale storingsniveau (ruischen) ligt. Door toepassing van richtantennes (ook aan de ontvangzijde) is deze signaal-storingsverhouding, op een afstand van bijv. 50 km en bij gebruik van de beste tegenwoordig beschikbare ontvangbuizen, reeds met een zendvermogen van eenige tientallen watt te verkrijgen.

We zeiden reeds, dat het ter verkrijging van „vrij zicht" tusschen de antennes van zender en ontvanger noodig is, deze op een hoog gelegen punt op te stellen, dus bijv. op een bergtop. Daar de voedingslijn voor de antenne slechts kort mag zijn, moeten de zender en de ontvanger in de onmiddellijke nabijheid van de antennes worden ondergebracht, terwijl het telefoonkantoor, waarin de radioverbinding eindigt, in het algemeen op eenige

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



afstand, bijv. in het dal, zal staan. Dit brengt twee consequenties mee: de zender en ontvanger zullen in het algemeen in de open lucht moeten worden opgesteld en zonder toezicht moeten werken, en het inschakelen van de apparaturen zal op afstand moeten kunnen geschieden. Hieronder zullen we nog gelegenheid hebben de gevolgen te bespreken, die een en ander voor de constructie van de installatie meebracht.

resonantie op, dwz. alleen voor deze golflengten ontstaat een noemenswaardig magnetisch wisselveld tusschen de twee geleiders. De terugkoppeling van de, door spoelen en condensatoren ruw op $\lambda = 4l$ afgestemde, anodekring op de roosterkring van de oscillator wordt nu bewerkstelligd via het genoemde magnetische wisselveld, zie *fig. 2*. Alleen trillingen met de golflengte $\lambda$ worden dan opgeslingerd en onderhouden.

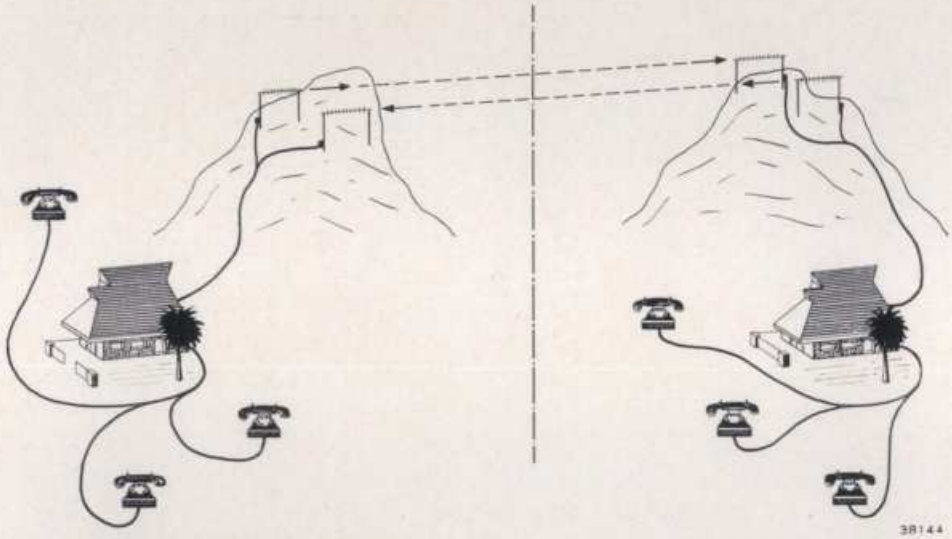



Fig. 1. Schets van de opstelling voor de radiotelefonische verbinding. In de nabijheid van elk der twee te verbinden telefoonkantoren zijn op een hoog gelegen punt de zender en ontvanger met hun richtantennes opgesteld. Elke installatie is op het bijbehoorende telefoonkantoor aangesloten met een telefoonlijn en een sterkstroomkabel voor de voeding.

In *fig. 1* is de beschreven situatie nogeens schetsmatig voorgesteld. Voor zender en ontvanger kunnen bijv. richtantennes worden gebruikt, die uit een aantal achter elkaar opgestelde evenwijdige staven bestaan. Voor het spreken in de beide richtingen worden iets verschillende golflengten gebruikt, opdat de ontvanger van elk station niet door de er naast opgestelde zender wordt beïnvloed.

### Schakeling van de zender

De eigenlijke zender bestaat uit drie trappen: een oscillatortrap, welke een hoogfrequente trilling van geringe amplitude, echter met goed constante frequentie in de buurt van 75 Mper/sec (4 m golflengte) levert, een tusschentrap en een eindtrap, waarin de trilling wordt versterkt tot een vermogen van 40 watt. De frequentie van de oscillatortrap, welke twee in balans geschakelde penthoden PE 1/80 bevat, wordt bepaald door een zg. lange lijn. Dit is een concentrische kabel, aan het eene uiteinde kortgesloten, aan het andere open. Is de lengte van de binnengeleider $l$, dan treedt bij trillingen met de golflengte $4l$ of $4l/3$ of $4l/5$ enz.

De resonantiekromme van de lange lijn is des te scherper, dwz. de frequentie van de zender is des te beter constant, naarmate er in de lange lijn minder diëlectrische en andere verliezen optreden. De diëlectrische verliezen zijn in ons geval practisch nihil, daar de concentrische „kabel" geheel zonder vaste isolatiematerialen is opgebouwd: de buitengeleider is een stevige koperen cylinder van 25 cm diameter, de binnengeleider een vrij hierin staande staaf van 5 cm diameter en 1 m lengte. De verliezen door straling en inductie in de omgeving zijn zeer klein gemaakt door de buitengeleider wat langer te maken dan de binnengeleider en het geheel af te sluiten (*fig. 3*).

Tengevolge van de koppeling met anode- en roosterkring van de oscillatorbuizen wordt de eigenfrequentie van de lange lijn in zekere mate door de rest van de schakeling beïnvloed. Deze ongewenschte invloed wordt klein gehouden door de koppeling niet te vast te maken en slechts een kleine anode-impedantie in de oscillator op te nemen. Een en ander beteekent, dat slechts een klein hoogfrequent vermogen kan worden afgenomen. De versterking van de hoogfrequente

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



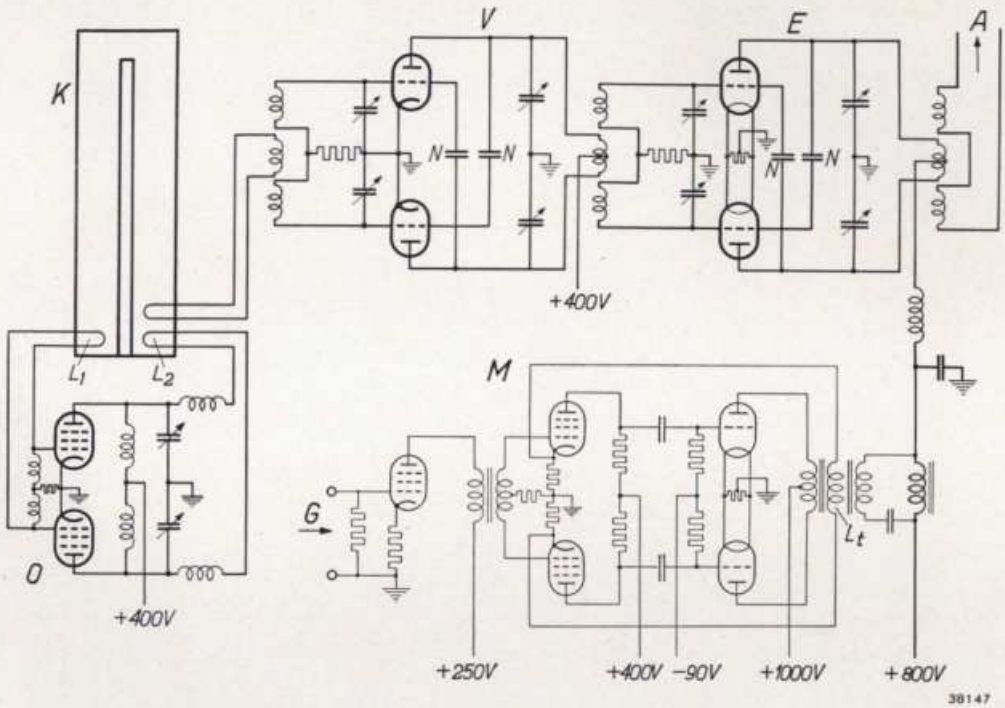



Fig. 2. Schakeling van de zender (vereenvoudigd). De terugkoppeling van anodekring op roosterkring van de oscillator $O$ vindt plaats door spoeltjes $L_1$, $L_2$, die in het magnetisch wisselveld van de „lange lijn" $K$ staan. $V$ tusschenversterkertrap, $E$ eindtrap, $N$ neutrodyne-condensatoren, $A$ antenne, $M$ modulator. Het moduleeren geschiedt door veranderen van de anodespanning van de eindtrap. De bij $G$ binnenkomende moduleerende spanning wordt in drie trappen versterkt; de spoel $L_t$ levert een tienvoudige tegenkoppeling.

trilling in tusschentrap en eindtrap geschiedt met trioden TE 05/10 resp. TB 1/60, waarbij de door de anode-rooster-capaciteit veroorzaakte ongewenschte terugwerking van de anode- op de roosterkring wordt opgeheven door neutrodyne-condensatoren.

Het moduleeren vindt plaats door veranderen van de anodespanning van de eindtrap (fig. 2). De

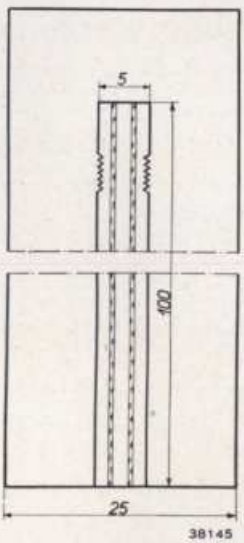



Fig. 3. Constructie van de lange lijn. Deze bestaat uit een koperen cylinder van 25 cm diameter, waarin een koperen geleider van 5 cm diameter concentrisch is bevestigd. De lengte van de binnengeleider bepaalt de golflengte van de eigen trilling van het geheel.

over de lijn van het telefoonkantoor komende microfoonspanningen worden in drie trappen versterkt, zoodat het mogelijk is om de zender vol te moduleeren met een laagfrequent ingangsvermogen van slechts $^1/_4$ milliwatt (een normaal telefoontoestel levert 1 mW, zoodat de telefoonlijn naar de zender nog een verzwakking van 6 db, d.i. een factor 4, mag veroorzaken). Het frequentiegebied van de modulator werd voor de eerste uitvoering tusschen 300 en 50 000 per/sec gelegd, dwz. in dit gebied blijft de versterkingsfactor binnen 2 db constant, terwijl de niet-lineaire vervorming bij volle belasting minder dan 1% bedraagt. Dit laatste is verkregen door een tienvoudige tegenkoppeling. De breede frequentieband veroorlooft, zooals in het begin reeds werd vermeld, het telefoneeren op een aantal kanalen tegelijk. Desgewenscht kan de modulator zonder groote moeilijkheden voor een nog veel breeder frequentiegebied, ter breedte van eenige 100 kper/sec, worden gebouwd.

Wat de voeding van de zender betreft, is ondersteld, dat ter plaatse van het telefoonkantoor een 220 V-wisselstroomnet aanwezig is, waarop de zender kan worden aangesloten. Er zijn dus in de zender de noodige gelijkrichters aangebracht om uit het net de anodespanningen, gloeistroomen enz. te verkrijgen. Is er geen netaansluiting beschik-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



baar, zooals op afgelegen plaatsen in de rimboe weleens het geval zal zijn, dan zal bijv. een benzine-aggregaat voor de stroomopwekking moeten worden gebruikt.

**Constructie van de zender**

Een zender, die in een tropisch klimaat moet werken en dat nog wel in de open lucht en zonder toezicht, is aan velerlei gevaren blootgesteld. Tegen regen en zand wordt hij beschermd door hem in een stevige, goed gesloten kast te monteeren, die met het oog op ongewenschte belangstelling van onbevoegden en van allerlei dieren op eenige meters hoogte boven de grond aan een antennepaal wordt opgehangen (*fig. 4*). Een tweede gevaar, dat de zender belaagt, zijn verschillende soorten schimmels, en de in de tropen zoo gevreesde witte mieren. Wil men de kast niet heelemaal dichtsoldeeren — wat natuurlijk niet gaat, daar hij nu en dan eens moet worden geopend om het inwendige voor inspecties en reparaties toegankelijk te maken — dan is er slechts één afdoende methode om schade door dit ongedierte te voorkomen: men moet bij het construeeren van de zender alle materialen vermijden, die de eetlust van witte mieren en dergelijke kunnen opwekken. Dit beteekent in de eerste plaats, dat er geenerlei textiel en dergelijke als isolatiemateriaal voor de bedrading mag voorkomen; de bedrading is dus blank gehouden en wordt gesteund door kleine isolatoren van hoogfrequentie-porcelein. Waar „eetbare" isolatiematerialen onvermijdelijk waren, zooals in de wikkelingen der transformatoren en smoorspoelen van de voedingsapparaten, zijn de onderdeelen in gesloten oliebakken met ingesoldeerde porceleinen doorvoeren ondergebracht, zie *fig. 5*. Tevens wordt hierdoor de temperatuurverhooging van de wikkelingen beperkt, hetgeen dubbel welkom is met het oog op de derde groote moeilijkheid, die het bedrijf in de tropen meebrengt: de hooge omgevingstemperatuur. Deze doet zich des te onaangenamer gevoelen, daar het koelen van de zender wordt bemoeilijkt door de gesloten kast, die ook geen

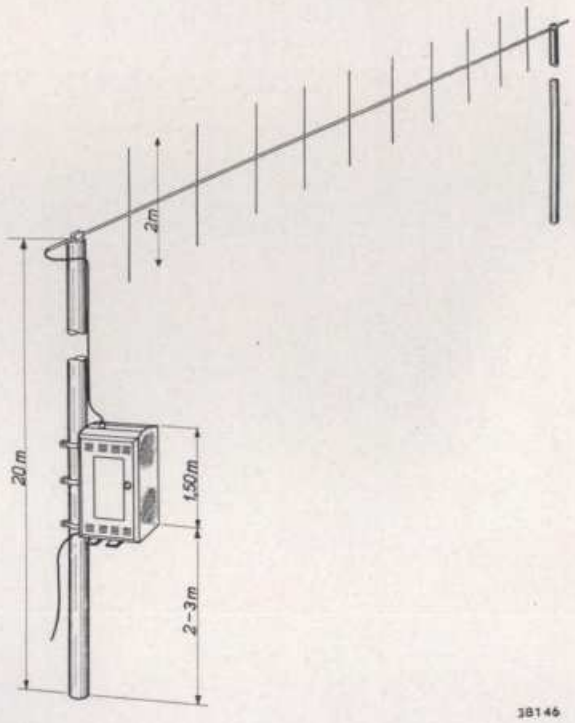
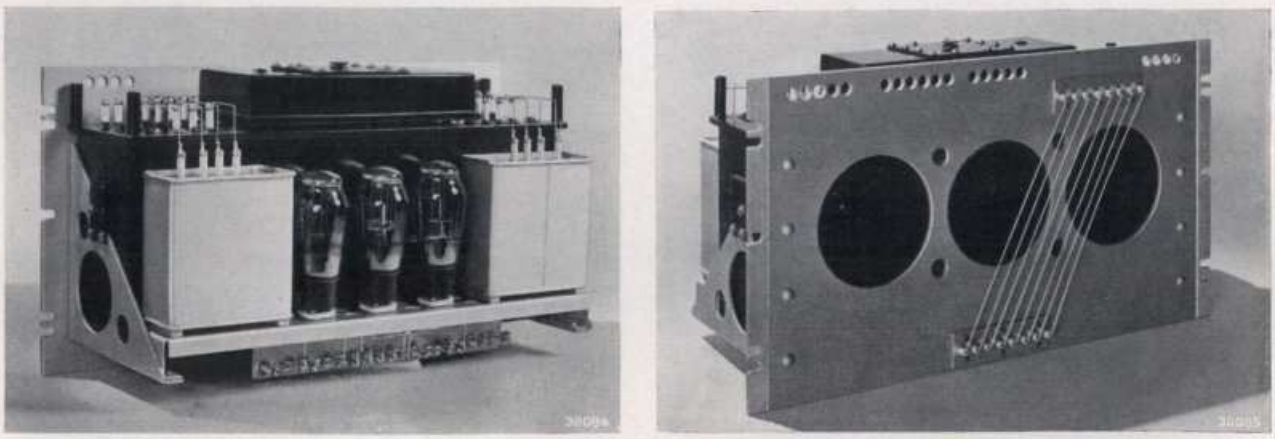



Fig. 4. De zender is in een stevige gesloten kast gemonteerd, die op eenige meters boven de grond aan een der, bijv. 20 m hooge, antennepalen wordt opgehangen.



*a* *b*

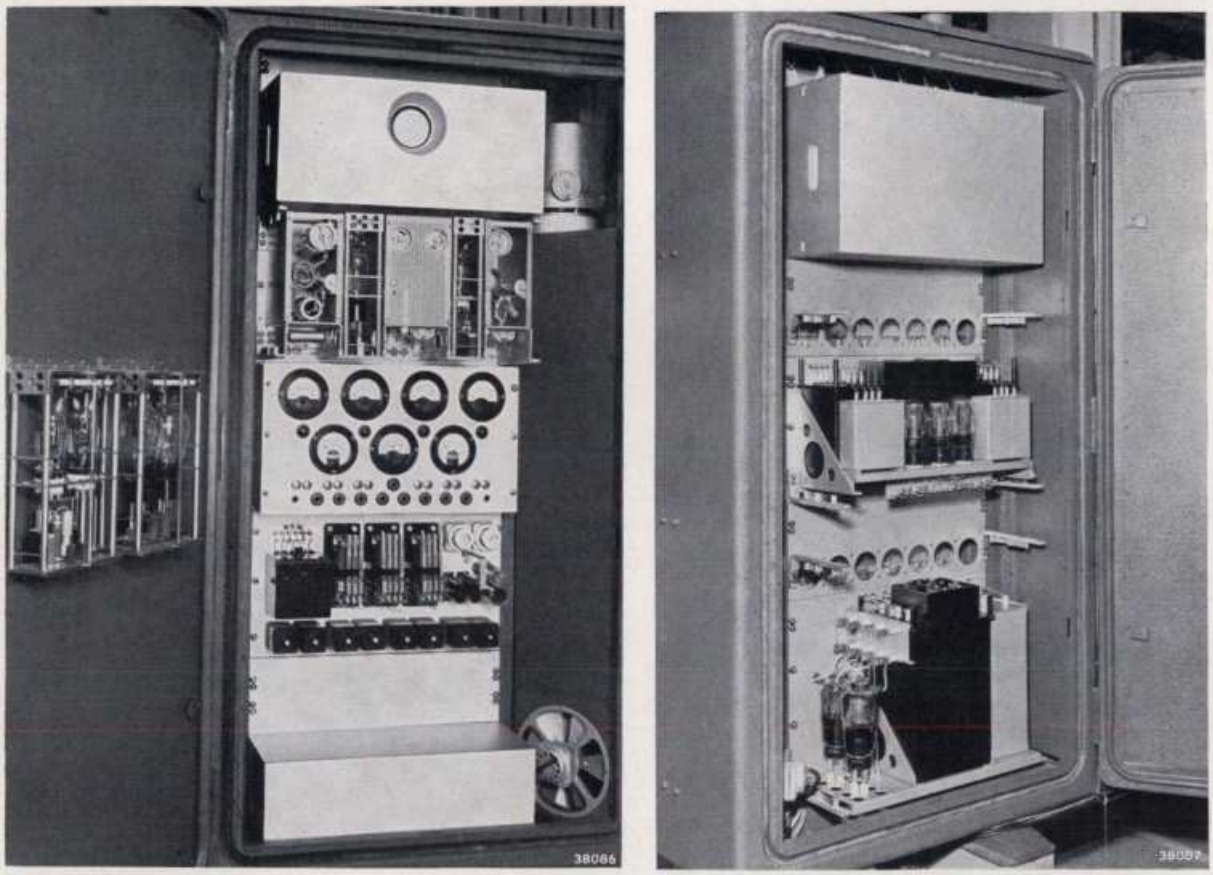
Fig. 5. Paneel met voedingsapparaten *a*) van voren, *b*) van achteren. De groote, met olie gevulde bak bevat de transformatoren en smoorspoelen. Bovenop de bak een expansievat. In de doozen aan weerskanten van de gelijkrichterbuizen zijn vereffeningscondensatoren gemonteerd. De bedrading is blank gehouden, alle doorvoeren zijn van hoogfrequentieporcelein gemaakt. De groote gaten in de achterwand van het paneel bevorderen de koeling door de lucht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



ventilatie-openingen mag hebben. Om de afvoer van de in de kast ontwikkelde warmte — de zender neemt 660 W op — te bevorderen, zijn de wanden en deuren uit dubbele platen gemaakt, waartusschen de buitenlucht kan circuleeren; op deze wijze doet een grooter oppervlak mee aan de warmte-overdracht aan de buitenlucht. In de kast zelf wordt een meetinstrumenten, schakelinrichtingen enz. bevatten. Het rek met de paneelen is door een tusschenschot van de lange lijn gescheiden; onder in dit schot zijn de ventilatoren geplaatst, die de lucht langs de paneelen naar boven en langs de lange lijn weer naar beneden doen stroomen. Dank zij deze maatregelen blijft de temperatuur van alle




*a* *b*

Fig. 6. Zenderkast met geopende deuren. Aan de voorkant (*a*) ziet men rechts het schot, dat de lange lijn afscheidt, en boven op de lange lijn de oscillatortrap. Verder een aantal paneelen, die bevatten (van boven naar beneden): een kathodestraalbuis, tusschen- en eindtrap, meetinstrumenten, relais en schakelaars. Aan de deur twee reserve-eenheden. Aan de achterzijde (*b*) ziet men drie paneelen, nl. (van boven naar beneden) de modulator, het voedingsapparaat voor de gloeispanningen en voor de anodespanningen van de eerste trappen van zender en modulator, en het groote voedingsapparaat voor de anodespanning (1000 V) van de eindtrappen van zender en modulator. Door de uitgeboorde ventilatiegaten ziet men de in het rek liggende bedrading.

plaatselijke te hooge verhitting vermeden dank zij een geforceerde luchtcirculatie door middel van ventilatoren. Hiervoor was een gunstige opstelling der verschillende gedeelten van de zender van belang. In *fig. 6* is deze opstelling te zien. Aan de zijkant is loodrecht de lange lijn geplaatst, waar bovenop de oscillatortrap is gemonteerd. Midden door de kast loopt een rek, aan welks vóór- en achterzijde — beide toegankelijk door een deur — een aantal paneelen zijn bevestigd, die de andere trappen van de zender, de voedingsapparaten, onderdeelen beperkt tot hoogstens 70 °C bij een omgevingstemperatuur van 45 °C.

We willen nu nog eenige details van de constructie bespreken.

Over de constructie van de lange lijn is hierboven al een en ander gezegd en er is op gewezen, dat de frequentie bepaald wordt door de lengte van de binnengeleider. Nu varieert deze lengte door het uitzetten van het materiaal met de temperatuurveranderingen. Zouden we voor de binnengeleider eenvoudig een koperen staaf ne-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



men, met een uitzettingscoëfficient van $162 \cdot 10^{-7}$, dan zou de lengte bij een temperatuurverandering van 20° varieeren met 0,032%, hetgeen bij een golflengte van 4 m een verschuiving van de draaggolffrequentie met ca 24 000 per/sec zou beteekenen. Om dit zeer ongewenschte effect tegen te gaan is de binnengeleider uit een buis van kwarts vervaardigd, waarover een dunne koperen huls is geschoven. De huls bestaat uit twee stukken, die vastgemaakt zijn aan de uiteinden van de kwartsbuis en met elkaar zijn verbonden door een harmonika-achtig uitrekbaar tusschenstuk, zie fig. 3. Men heeft dus als het ware een koperen staaf, waarvan de lengte bepaald wordt door de kwartsbuis. De uitzettingscoëfficient van kwarts bedraagt slechts $6 \cdot 10^{-7}$, zoodat dezelfde rekening als hierboven nu slechts een variatie van 900 per/sec oplevert.

Daar de rooster-anode-capaciteit van de trioden, welke in de tusschentrap en de eindtrap van de zender worden gebruikt, voor verschillende buizen eenigszins uiteen kan loopen, moeten de neutrodyne-condensatoren bij het verwisselen van defecte buizen opnieuw worden afgesteld. Om nu het verwisselen ook door ongeschoold personeel te kunnen laten uitvoeren, zijn aan de binnenzijde van de deur van de zender twee volledige reserve-eenheden opgehangen (zie fig. 6*a*), die van te voren geneutrodyniseerd zijn en die eenvoudig in de plaats van de oude eenheden in de daarvoor bestemde openingen van het desbetreffende paneel kunnen worden geschoven. Daarbij komen door een stel contactpennen automatisch de noodige verbindingen tot stand. In *fig.* 7 zijn de reserve-eenheden afzonderlijk weergegeven. Men ziet hierop, dat de verbindingen tusschen de buizen en andere deelen van de schakeling zeer kort zijn gehouden, hetgeen gewenscht is met het oog op de hooge zenderfrequentie. De neutrodyne-condensatoren, die men bij de rechter eenheid in fig. 7 duidelijk ziet, bestaan uit twee evenwijdige vlakke metaalschijfjes, die door porceleinen staven op afstand worden gehouden. De afstanden tusschen de condensatorplaten, alsook tusschen andere punten, waartusschen hooge hoogfrequente spanningen komen te staan [1]), zijn zoodanig gekozen, dat ook in bergachtige streken, waar tengevolge van de verminderde luchtdruk en andere oorzaken de doorslagspanning aanmerkelijk lager kan zijn dan in de laagvlakte, nog geen overslagen kunnen optreden.

De oliebakken, waarin de transformatoren enz. zijn gemonteerd, bezitten een expansievat, waarin de overtollige olie wordt gedreven, wanneer de vloeistof door de warmte uitzet (bij 50° temperatuurverschil bedraagt de volumeverandering ca 5%). Om het oxydeeren van de olie zooveel mogelijk tegen te gaan is het expansievat zoo geconstrueerd, dat het aanrakingsoppervlak tusschen lucht en olie klein is. Bij het afkoelen loopt de olie weer terug, daarbij een hoeveelheid versche lucht aanzuigend. Daar de lucht in het tropische klimaat steeds zeer veel vocht bevat, wat voor het intact houden van de olie al bijzonder ongewenscht is, laat men de lucht bij het binnenstroomen in het vat over een groote lengte langs een droogmiddel (silica-gel) passeeren.

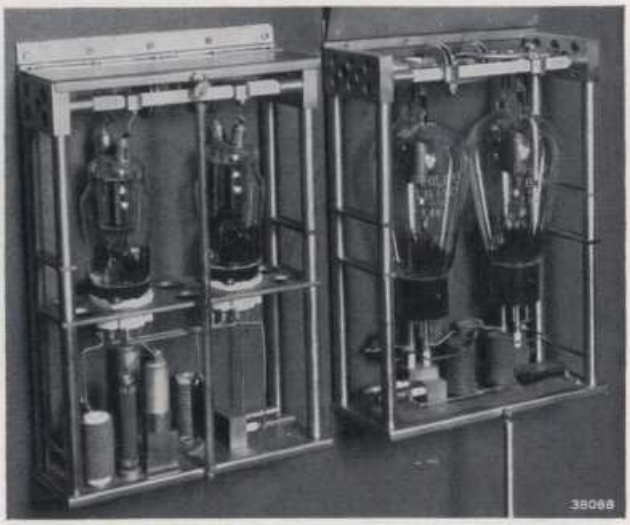



Fig. 7. Volledige, van te voren geneutrodyniseerde reserve-eenheden. Links voor de tusschentrap, rechts voor de eindtrap. Deze eenheden kunnen in hiervoor bestemde openingen in het zenderpaneel (fig. 6*a*, tweede van boven) worden geschoven.

Om de noodige verbindingen tusschen de paneelen tot stand te brengen bevindt zich achter elk paneel een horizontale strook met porceleinen doorvoeren, waarop de in het rek liggende blanke bedrading eindigt en waarop het paneel wordt aangesloten. Voor zoover mogelijk, zijn de aansluitingen op de strooken zoodanig gerangschikt, dat in het rek geen kruisingen in de blanke bedrading voorkomen. Waar kruisingen onvermijdelijk waren, zijn deze geconcentreerd in twee van de horizontale strooken: deze zijn als gesloten bussen uitgevoerd, waarbinnen de verbindingen tusschen de doorvoeren aan de ééne zijde (naar het paneel) en de andere zijden (naar het rek) elkaar naar hartelust mogen kruisen, daar de bus naderhand met zg. tropencompound, een pekachtig isolatiemateriaal met hoog verweekingspunt, wordt volgegoten en dan dichtgesoldeerd. Aan de aardverbindingen moet bij de hier gebruikte hooge frequentie bijzondere

[1]) Bij een anodegelijkspanning van ca 800 V treden bij volle modulatie topspanningen op van ca 3200 V.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



aandacht worden besteed. Hiervoor is een zeer goed electrisch contact tusschen de chassis van de paneelen en het rek noodzakelijk, hetgeen wordt verkregen door de over elkaar vallende randen van paneel en rek met koper te schoopeeren [2]).

**De ontvanger**

Over de ontvanger kunnen we kort zijn. Het is een superheterodyne-apparaat met een middenfrequentie van ca 3 Mper/sec en een bandbreedte van ca 120 kper/sec (nl. tweemaal de maximale modulatiefrequentie van de zender, vermeerderd met het bedrag, waarmee de zenderfrequentie door de boven genoemde effecten kan verloopen). De frequentie van de hulposcillator wordt ook hier constant gehouden met behulp van een lange lijn. De terugwerking, die de lange lijn door de rest van de schakeling ondergaat, is hier in verband met de veel kleinere vermogens (kleinere oscillatorbuizen) aanzienlijk geringer dan in de zender. De uitgang van de ontvanger wordt door een transformator aangepast aan de impedantie van de lijn naar de telefooncentrale (normaal 600 ohm).

De constructie van de ontvanger is geheel analoog aan die van de zender. Hij is met de bijbehoorende voedingsapparaten gemonteerd in eenzelfde kast als de zender, en voor de bedrading enz. golden dezelfde richtlijnen. Het warmteprobleem trad hier natuurlijk veel minder op de voorgrond, daar de ontvanger slechts 110 W opneemt.

**De bediening van de installatie**

De ontvangers van de beide radiotelefonisch verbonden telefoonkantoren moeten gedurende de diensturen permanent ingeschakeld blijven, opdat eventueele gesprekken aangekondigd kunnen worden. De zender daarentegen zal men op niet te drukke lijnen liefst na elk gesprek uitschakelen. Om dan een oproep toch direct te kunnen beantwoorden, moet de zender in zoo kort mogelijke tijd weer ingeschakeld kunnen worden. Derhalve zijn, voor zoover dit mogelijk was, buizen met direct verhitte kathoden toegepast, die enkele seconden na het inschakelen reeds bedrijfsklaar zijn. Waar indirect verhitte kathoden wegens hun betere eigenschappen (grootere steilheid, minder brommen enz.) bepaald gewenscht waren, laat men deze kathoden permanent op temperatuur blijven. De anodespanningen worden, om de levensduur der kathoden niet ongunstig te beïnvloeden, eerst 3 seconden later dan de direct verhitte kathoden ingeschakeld en wel met een 25% verlaagde waarde, die eerst na nogeens 10 seconden tot de normale waarde wordt verhoogd. Spreken kan men dus al 3 seconden na het inschakelen van de zender, zij het dan de eerste 10 seconden nog met een hooger storingsniveau, daar de verlaagde anodespanningen een slechtere signaal-ruisch-verhouding aan de ontvangzijde meebrengen. Het stapsgewijze inschakelen beperkt ook de grootte der inschakelstroomstooten, waardoor de op verschillende punten aangebrachte smeltveiligheden nauwer gedimensionneerd kunnen worden en de contacten minder slijten.

Het inschakelen van de zender in de genoemde stappen geschiedt door middel van een aantal relais en bimetaalcontacten, die alle op een paneel in de zenderkast zijn gemonteerd (zie fig. 6*a*). Het eerste relais, dat de ontvanger en alle indirect verhitte kathoden inschakelt, wordt bij het begin van de diensturen in werking gesteld door van het telefoonkantoor uit een gelijkstroom van 10 mA de lijn naar de zendinstallatie op te sturen. Komt een oproep, dan schakelt de telefoniste haar telemicrofoon op deze lijn, waarbij automatisch door een hulpcontact de genoemde gelijkstroom tot 40 mA wordt verhoogd. Hierdoor wordt in de zender een tweede relais in werking gesteld, dat voor het achtereenvolgens inschakelen van de direct verhitte kathoden, van de verlaagde anodespanningen en van de normale anodespanningen zorgt.

Voor het oproepen wordt in een telefoonnet in het algemeen een signaal met een frequentie van 50 per/sec of lager gebruikt, daar de wekkers van de gebruikelijke telefoontoestellen hiervoor zijn geconstrueerd. Nu is echter volgens de hierboven gegeven beschrijving de modulator van de zender niet voor zoo lage frequenties geschikt (de frequentiekarakteristiek valt beneden 300 per/sec sterk af). Derhalve is op het telefoonkantoor aan het begin van de lijn naar de zender een afzonderlijk oproepapparaat opgesteld (*fig. 8*). Dit bevat een hulposcillator, welke door een op 50 per/sec reageerend relais in werking wordt gesteld en welke een signaal van 2700 per/sec de lijn op stuurt. Aan de ontvangzijde komt dit signaal via een scherp afsnijdend filter (eveneens in het oproep-apparaat ondergebracht) op een relais-inrichting, die nu het normale oproepsignaal aan het toestel van de telefoniste toevoert. Tevens zijn in het oproep-apparaat de stroombron, schakelaars en mA-meter ondergebracht voor de gelijkstroomen, waarmee de geheele radio-installatie in bedrijf wordt gezet.

Tenslotte zij nog vermeld, dat de zenderkast een

[2]) Bij deze bewerking wordt door opspuiten een stevig hechtend metaallaagje aangebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



aantal meetinstrumenten bevat voor de contrôle van de werking van het geheel en voor het opsporen van eventueele storingsoorzaken. Deze instrumenten zijn in fig. 6*a* op het middelste paneel te zien; de bovenste rij geeft de stroom aan in de verschillende trappen van de zender, links en rechts daaronder leest men de voedende netspanning en de gloeispanning van de eindtrap af, terwijl de middelste meter met behulp van de daaronder zichtbare rij contacten naar keuze op een aantal punten van de schakeling kan worden aangesloten. In het bovenste paneel, zie fig. 6*a*, is een kathodestraalbuis gemonteerd, aan welker afbuigplaten de laagfrequente spanning van de modulator resp. de hoogfrequente spanning van de antenne (ontleend aan de boven door de zenderkast gevoerde antennevoedingslijn) wordt toegevoerd. Op het scherm van de buis verkrijgt men op deze wijze de zg. modulatiekarakteristiek [3]), die uitsluitsel geeft over de modulatiediepte en eventueele vervorming.

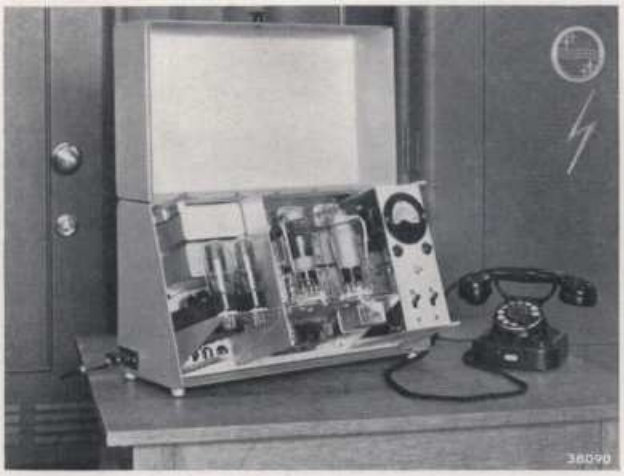


Fig. 8. De hulpapparatuur op het telefoonkantoor. Hierin zijn de inrichtingen voor het inschakelen van de installatie op afstand en voor het oproepen ondergebracht.

[3]) Zie H. van Suchtelen, Philips techn. T. **3**, 252, 1938.

## OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gaarne overdrukken. Van de publicaties, die met een * zijn gemerkt, is echter geen voor verspreiding voldoend aantal overdrukken beschikbaar.

**1521:** F. A. Kröger: ZnS, CdS, MnS en mengkristallen in het ternaire systeem ZnS-CdS-MnS (Chem. Wbl. **37**, 590-596, Nov. 1940).

In deze voor de secties Kolloidchemie en Physische Chemie der Nederlandsche Chemische Vereeniging gehouden voordracht werd aan de hand van de fasetheorie het optreden besproken van mengkristallen in het ternaire systeem ZnS-CdS-MnS. Deze onderzoekingen werden verricht in verband met de fluoresceerende eigenschappen, die dergelijke stoffen vertoonen.

**1522*:** K. de Boer: Stereofonische geluidsweergave (diss. Delft, Dec. 1940).

In dit proefschrift wordt een overzicht gegeven van de onderzoekingen, die zijn verricht betreffende het ruimtelijk hooren en het ruimtelijk weergeven van geluid. Naast het werk van den schrijver zelf zijn ook de resultaten besproken, die door anderen werden verkregen. Wij kunnen volstaan met te verwijzen naar de artikelen, die hierover reeds zijn verschenen in dit tijdschrift: **4**, 329, 1939; **5**, 112 en 187, 1940.

**1523:** A. Bouwers: Een toestel voor de localiseering van projectielen (Ned. T. Geneesk. **84**, 4665-4667, Nov. 1940).

Voor een uitvoerige beschrijving van deze „kogelzoeker" zij verwezen naar: Philips techn. T. **5**, 321, Nov. 1940.

**1524:** J. A. M. van Liempt und J. A. de Vriend: Die Schmelzzeit von Schmelzsicherungen. III (Z. Phys. **117**, 18-19, Dec. 1940).

Vroegere onderzoekingen van de schrijvers over de smelttijd van dunne smeltveiligheden in afhankelijkheid van de kortsluitstroom zijn voortgezet aan andere metalen en legeeringen. De metingen zijn geschied met behulp van gelijkstroom (volgens een o.a. in dit tijdschrift **4**, 123, 1939 reeds beschreven methode) aan draden met verschillend gevormde doorsneden. Zooals theoretisch mocht worden verwacht, heeft de vorm van de draaddoorsnede géén invloed op de smelttijd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/13/2023



**1525:** K. F. Niessen: Elektrische Feldstärke als Funktion der durch die Antenne verbrauchten Energie. II (Physica **7**, 897-908, Dec. 1940).

In vervolg op **1510** wordt het verticale, electrische veld berekend, dat door een antenne van een halve golflengte wordt opgewekt in een punt, gelegen boven een vlakke, droge aarde, waarvoor men een diëlectrische constante 4 en een geleidingsvermogen $10^{-15}$ mag onderstellen. Evenals in **1510** wordt bij de berekeningen uitgegaan van het eenvoudige geval, dat zich een mathematische dipool op een afstand van een halve golflengte boven de aarde bevindt. Evenals vroeger wordt gewerkt met een golflengte van 30 m, het essentieele verschil met de eerste publicatie bestaat echter daarin, dat nu de absolute waarde van de complexe brekingsindex niet groot is ten opzichte van 1 en het argument nagenoeg 45° wordt, aangezien de verschuivingsstroom groot is ten opzichte van de geleidingsstroom. Het artikel eindigt met een vergelijking van de hier gevonden resultaten met de waarden, die men met de reflectieformule zou krijgen. Het opvallende is niet zoozeer de verbetering, die de formule van Sommerfeld beteekent ten opzichte van de reflectieformule, maar vooral het feit, dat het nu is gelukt, het veld te berekenen uit de in totaal aan de antenne toegevoerde energie, waarin natuurlijk ook de energie is begrepen, die later in de aarde wordt geabsorbeerd.

**1526:** J. A. M. van Liempt und J. A. de Vriend: Pupillenmessungen bei monochromatischem Licht (Physica **7**, 961-969, Dec. 1940).

De grootte van de pupil bij monochromatisch licht is in afhankelijkheid van golflengte en helderheid gemeten met behulp van de door Moss in de vorm van een bril uitgevoerde pupilmeter van Broca. Bij toenemende golflengte wordt de pupil grooter en wel met een plotselinge stijging bij 5700 à 5900 Å. Bij gemengd licht treedt géén eenvoudige additiviteit van de pupilgrootte op. Waarschijnlijk geldt voor de samentrekking van de pupil de somwet, zooals v. Kreveld die heeft gegeven voor de zwartingskrommen van fotografisch materiaal onder gemengd licht en Bouma voor de subjectieve helderheid van een gemengde straling.

**1528:** J. D. Fast: Diffusie van gassen door metalen (Chem. Wbl. **38**, 2-8 en 18-23, Jan. 1941).

Een overzicht wordt gegeven van de verschillende diffusiemechanismen, die zich in metalen kunnen voordoen. In die gevallen, waarbij iets bekend is over het mechanisme der diffusie van gassen door metalen, blijken gasatomen (resp. -ionen) door de tusschenruimten van het metaalrooster te diffundeeren. Bij het optreden van een doorlaatbaarheid van metalen wanden voor gassen heeft men echter niet uitsluitend met dit diffusieproces te maken, maar tevens met twee processen aan het intree-oppervlak en met twee processen aan het uittree-oppervlak. Bij de doorlating spelen dus in totaal vijf verschillende processen een rol, die elk een eigen activeeringsenergie bezitten. Voor verschillende combinaties van gas en metaal en bij gebruik van niet te dikke wanden zijn ook vijf verschillende gevallen te realiseeren, waarin telkens een ander proces de snelheid van doorlating bepaalt. Met behulp van potentiaalkrommen worden die verschillende mogelijkheden schematisch weergegeven. De schrijver gaat vervolgens na, welke van die gevallen in de practijk voor blijken te komen. Bij diffusie van waterstof door ijzer is de grootste activeeringsenergie aan het intree-oppervlak noodig voor het splitsen van het molecuul in atomen. Bij diffusie van waterstof door palladium en van zuurstof door nikkel wordt de grootste energie echter vereischt aan het uittree-oppervlak voor de recombinatie van de atomen tot muleculen, dwz. juist voor het tegenovergestelde proces. Dringt waterstof door koperen wanden heen, dan hebben wij te maken met een geval, waarin de grootste activeeringsenergie noodig is voor de diffusie der waterstofatomen (resp. -ionen) binnen het metaal.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!